

Colles de Physique-Chimie

Chams GHARIB

2024-2025

Table des matières

| | |
|---|----------|
| MPSI | 1 |
| Semaine 01 (16/09-20/09) | 2 |
| Questions de cours | 2 |
| Exercice 1 : Application des lois de Kirchhoff | 2 |
| Exercice 2 | 3 |
| Exercice 3 : Rendement d'un montage potentiométrique | 3 |
| Exercice 4 : Adaptation de puissance | 3 |
| Semaine 02 (23/09-27/09) | 4 |
| Questions de cours | 4 |
| Exercice 1 : Résistance de fuite d'un condensateur | 4 |
| Exercice 2 : Étude d'un circuit RL | 5 |
| Exercice 3 : Rendement énergétique de la charge d'un condensateur | 5 |
| Semaine 03 (30/09-04/10) | 6 |
| Questions de cours | 6 |
| Exercice 1 : Fluoruration du dioxyde d'uranium | 6 |
| Exercice 2 : Constante d'équilibre et quotient de réaction. | 7 |
| Exercice 3 : Utilisation du quotient de réaction. | 7 |
| Semaine 04 (07/10-11/10) | 9 |
| Questions de cours | 9 |
| Exercice 1 : Réfractomètre de Pulrich | 9 |
| Exercice 2 | 9 |
| Exercice 3 : Détection de pluie sur un pare-brise | 10 |
| Semaine 05 (14/10-18/10) | 11 |
| Questions de cours | 11 |
| Exercice 1 : Méthode de Bessel pour la focométrie | 11 |
| Exercice 2 : Microscope | 11 |
| Exercice 3 : Lunette astronomique | 12 |
| Exercice 4 : Stigmatisme d'une lame à faces parallèles | 12 |
| Semaine 06 (04/11-08/11) | 14 |

TABLE DES MATIÈRES TABLE DES MATIÈRES

| | |
|--|----|
| Questions de cours | 14 |
| Exercice 1 : Décomposition de l'azométhane en phase gazeuse | 14 |
| Exercice 2 : Temps de demi-réaction | 14 |
| Exercice 3 : Dismutation des ions hypochlorites | 15 |
| Semaine 07 (11/11-15/11) | 17 |
| Questions de cours | 17 |
| Semaine 08 (18/11-22/11) | 18 |
| Questions de cours | 18 |
| Exercice 1 : Exemple de régime critique | 18 |
| Exercice 2 : Étude d'un circuit à deux bobines | 19 |
| Exercice 3 : Réponse à un échelon de tension d'un dipôle RLC parallèle | 19 |
| Semaine 09 (25/11-29/11) | 21 |
| Questions de cours | 21 |
| Semaine 10 (02/12-06/12) | 22 |
| Questions de cours | 22 |
| Exercice 1 : Interférences acoustiques | 22 |
| Exercice 2 : Corde de Melde | 23 |
| Exercice 3 : La couleur bleue du papillon Morpho | 23 |
| Semaine 11 (09/12-13/12) | 24 |
| Questions de cours | 24 |
| Exercice : Formules de Lewis | 24 |
| Semaine 12 (16/12-20/12) | 25 |
| Questions de cours | 25 |
| Exercice 1 : Fronde | 25 |
| Exercice 2 : Balle lancée depuis une montgolfière | 25 |
| Exercice 3 : Cycliste sur piste | 26 |
| Exercice 4 : Mouvement sur une ellipse | 26 |
| Semaine 13 (06/01-10/01) | 28 |
| Questions de cours | 28 |
| Exercice 1 : Descente et chute d'un skieur | 28 |
| Exercice 2 : Un tour en traîneau | 29 |
| Exercice 3 : Oscillations amorties d'un plateau | 30 |
| Exercice 4 : Pendule contrarié | 30 |
| Semaine 14 (13/01-17/01) | 31 |
| Questions de cours | 31 |
| Exercice 1 : Le sport fait-il maigrir ? | 31 |
| Exercice 2 : Molécule diatomique | 32 |
| Exercice 3 : Bifurcation mécanique | 33 |
| Semaine 15 (20/01-24/01) | 34 |
| Questions de cours | 34 |

TABLE DES MATIÈRES TABLE DES MATIÈRES

| | |
|---|-----------|
| Exercice 1 : Accélération et déviation d'un électron par diffé- | |
| rence de potentiel | 34 |
| Exercice 2 : Accélération de particules α | 34 |
| Exercice 3 : Principe d'un oscilloscope analogique | 35 |
| Semaine 16 (27/01-31/01) | 37 |
| Questions de cours | 37 |
| Exercice 1 : Spectromètre de masse | 37 |
| Exercice 2 : Cyclotron | 37 |
| Exercice 3 : Effet Zeeman | 38 |
| MPI | 41 |
| Semaine 02 (23/09-27/09) | 42 |
| Exercice 1 | 42 |
| Exercice 2 | 43 |
| Exercice 3 | 43 |
| Semaine 03 (30/09-04/10) | 44 |
| Exercice 1 : Intégration d'un créneau par un filtre passe bande | 44 |
| Exercice 2 : Shannon comme au cinéma | 44 |
| Semaine 04 (07/10-11/10) | 45 |
| Exercice 1 : Système à deux ressorts | 45 |
| Exercice 2 : Frottement et facteur de qualité | 45 |
| Exercice 3 : Mouvement autour d'une position d'équilibre . . . | 46 |
| Semaine 04 (14/10-18/10) | 47 |
| Exercice 1 : Force en $1/r^4$ | 47 |
| Exercice 2 : Satellite géostationnaire | 47 |
| Exercice 3 : Chute d'un satellite dans l'atmosphère | 47 |
| Exercice 4 : Pendule pesant dans une voiture accélérée | 48 |
| Exercice 5 : Limite de Roche | 48 |
| Exercice 6 : Usure d'une ligne de TGV | 49 |
| Exercice 7 : Impesanteur | 49 |
| Semaine 06 (04/11-08/11) | 50 |
| Exercice 1 : Glissement d'une caisse dans un camion | 50 |
| Exercice 2 : Cube sur un plan incliné | 50 |
| Exercice 3 : Glissement et liaison avec une corde | 50 |
| Semaine 07 (11/11-15/11) | 51 |
| Questions de cours : | 51 |
| Exercice 1 : Fluoration du dioxyde d'uranium | 51 |
| Exercice 2 : Constante d'équilibre et quotient de réaction. . . . | 51 |
| Exercice 3 : Utilisation du quotient de réaction. | 52 |
| Semaine 08 (18/11-22/11) | 53 |
| Questions de cours | 53 |

TABLE DES MATIÈRES TABLE DES MATIÈRES

| | |
|---|-----------|
| Exercice 1 : Vitamine C | 53 |
| Exercice 2 : Titrage du dioxyde de soufre dans le vin | 54 |
| Exercice 3 : Pile à combustible | 54 |
| Semaine 09 (25/11-29/11) | 56 |
| Questions de cours | 56 |
| Semaine 10 (02/12-06/12) | 57 |
| Semaine 11 (09/12-13/12) | 58 |
| Exercice 1 : Cohérence spatiale des fentes d'Young | 58 |
| Exercice 2 : Interférences sur une goutte | 58 |
| Exercice 3 : Mesure de l'indice d'un verre | 58 |
| Semaine 12 (16/12-20/12) | 60 |
| Exercice 1 : Interférences sur une goutte | 60 |
| Exercice 2 : Mesure de l'épaisseur d'une lame | 60 |
| Exercice 3 : Mesure de l'indice de l'air | 61 |
| Semaine 13 (06/01-10/01) | 62 |
| Questions de cours : | 62 |
| Exercices | 62 |
| Semaine 14 (13/01-17/01) | 63 |
| Questions de cours : | 63 |
| Questions sur le Michelson : | 63 |
| Exercices | 63 |
| Semaine 15 (20/01-24/01) | 64 |
| Questions de cours | 64 |
| Exercice 1 : Condensateur cylindrique | 64 |
| Exercice 2 : Plaque épaisse chargée | 64 |
| Exercice 3 : Condensateur à cylindres parallèles | 65 |
| Semaine 16 (27/01-31/01) | 66 |
| Questions de cours | 66 |
| Exercice 1 : Bobine torique | 66 |
| Exercice 2 : Caractéristiques d'un câble coaxial | 66 |
| Exercice 3 : Équilibre d'une tige dans un champ non uniforme | 67 |
| Exercice 4 : Action mécanique d'un fil sur un autre fil parallèle | 67 |
| MP | 69 |
| Semaine 01 (16/09-20/09) | 70 |
| Exercice 1 | 70 |
| Exercice 2 | 71 |
| Exercice 3 | 71 |
| Semaine 02 (23/09-27/09) | 72 |
| Exercice 1 | 72 |
| Exercice 2 | 72 |

TABLE DES MATIÈRES TABLE DES MATIÈRES

| | |
|---|----|
| Exercice 3 | 72 |
| Exercice 4 | 72 |
| Semaine 03 (30/09-04/10) | 73 |
| Exercice 1 | 73 |
| Exercice 2 | 73 |
| Exercice 3 | 73 |
| Semaine 04 (07/10-11/10) | 74 |
| Exercice 1 : Pendule pesant dans une voiture accélérée | 74 |
| Exercice 2 : Limite de Roche | 74 |
| Exercice 3 : Usure d'une ligne de TGV | 75 |
| Semaine 05 (14/10-18/10) | 76 |
| Exercice 1 : Glissement d'une caisse dans un camion | 76 |
| Exercice 2 : Cube sur un plan incliné | 76 |
| Exercice 3 : Glissement et liaison avec une corde | 76 |
| Semaine 06 (04/11-08/11) | 77 |
| Exercice 1 : Condensateur cylindrique | 77 |
| Exercice 2 : Condensateur sphérique | 77 |
| Exercice 3 : Rayon classique de l'électron | 78 |
| Semaine 07 (11/11-15/11) | 79 |
| Questions de cours : | 79 |
| Exercice 1 : Décomposition de l'azométhane en phase gazeuse | 79 |
| Exercice 2 : Temps de demi-réaction | 79 |
| Exercice 3 : Dismutation des ions hypochlorites | 80 |
| Semaine 08 (18/11-22/11) | 82 |
| Exercice 1 : Bobine torique | 82 |
| Exercice 2 : Caractéristiques d'un câble coaxial | 82 |
| Exercice 3 : Équilibre d'une tige dans un champ non uniforme | 82 |
| Exercice 4 : Action mécanique d'un fil sur un autre fil parallèle | 83 |
| Semaine 09 (25/11-29/11) | 84 |
| Exercice 1 : Double rails de Laplace | 84 |
| Exercice 2 : Inductances propres et mutuelles | 84 |
| Exercice 3 : Induction par un aimant mobile | 85 |
| Exercice 4 : Mesure d'une inductance mutuelle par battements | 85 |
| Semaine 10 (02/12-06/12) | 86 |
| Questions de cours | 86 |
| Exercice 1 : Combustion de l'éthyne | 86 |
| Exercice 2 : Mesure de l'enthalpie d'autoprotolyse de l'eau | 86 |
| Exercice 3 : Combustion du monoxyde de carbone | 87 |
| Semaine 11 (09/12-13/12) | 88 |
| Questions de cours | 88 |
| Exercice 1 : Interprétation des enthalpies et entropies de réaction | 88 |

TABLE DES MATIÈRES TABLE DES MATIÈRES

| | |
|---|----|
| Exercice 2 : Étude du produit ionique | 89 |
| Exercice 3 : Existence du diamant | 89 |
| Semaine 14 (13/01-17/01) | 91 |
| Questions de cours | 91 |
| Exercice 1 : Déplacement d'équilibre par ajout d'un composé inerte | 91 |
| Exercice 2 : Déchloration du pentachlorure de phosphore . . . | 92 |
| Exercice 3 : Combustion du méthane | 92 |
| Semaine 15 (20/01-24/01) | 94 |
| Exercice 1 : Chauffage d'un métal par le soleil | 94 |
| Exercice 2 : Ondes électromagnétiques dans un diélectrique . . | 94 |
| Exercice 3 : Équation de Klein-Gordon et masse du photon . . | 95 |
| Semaine 16 (27/01-31/01) | 97 |
| Exercice 1 : Chauffage d'un métal par le soleil | 97 |
| Exercice 2 : Propagation guidée entre deux plans | 97 |
| Exercice 3 : Lois de Descartes sur la réflexion et la réfraction . | 98 |

MPSI

Semaine 01 (16/09-20/09)

Notions abordées :

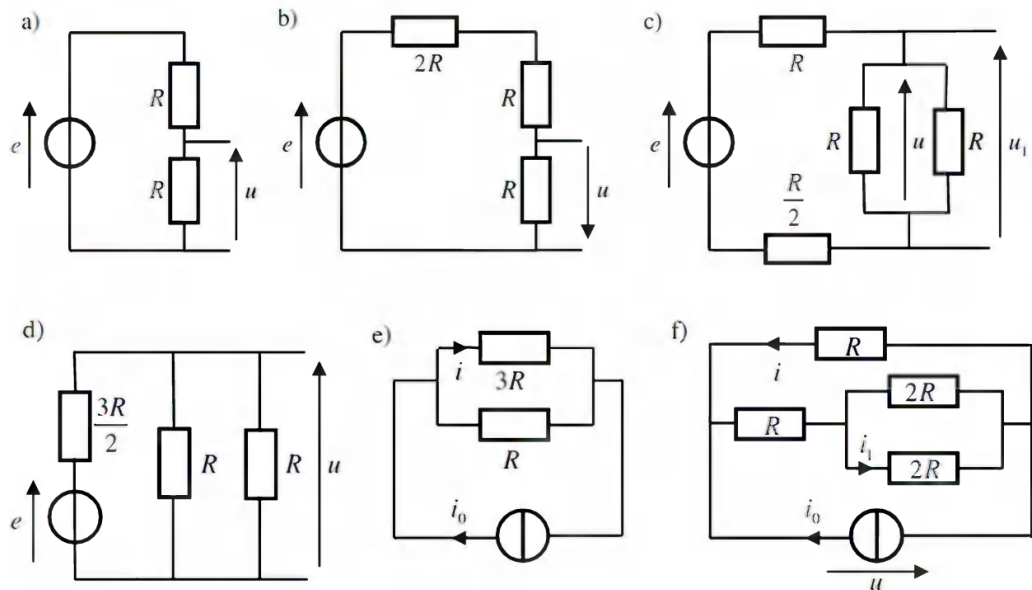
- Analyse dimensionnelle.
- Circuits électriques dans l'ARQS.

Questions de cours

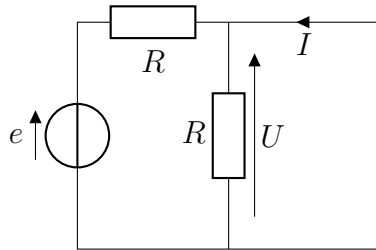
1. Définir le courant électrique. Définir l'intensité du courant électrique.
2. Définir la tension électrique.
3. Décrire les conventions d'orientation des dipôles. Que valent la puissance reçues et fournies dans chaque cas ?
4. Qu'est-ce que l'ARQS ? Quelles conséquences ?
5. Démontrer la formule du pont diviseur de tension.
6. Démontrer la formule du pont diviseur de courant.

Exercice 1 : Application des lois de Kirchoff

Pour chaque circuit, donner les tensions u et u_1 en fonction de e ou bien les intensités i et i_1 en fonction de i_0 .



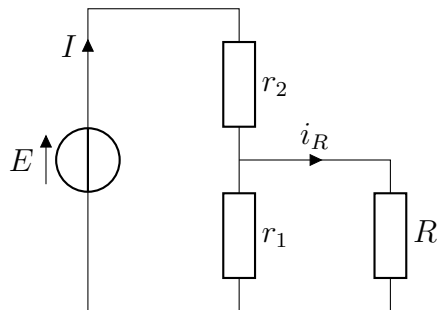
Exercice 2



On donne $R = 10 \text{ k}\Omega$.

1. Tracer la caractéristique du dipôle ci-contre.
2. On ajoute une charge de résistance $R' = 3 \text{ k}\Omega$. Déterminer le point de fonctionnement de deux façons.

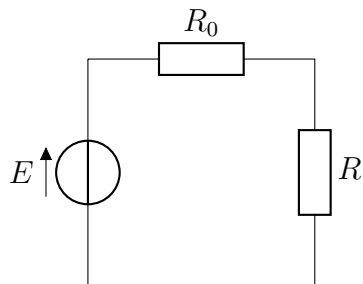
Exercice 3 : Rendement d'un montage potentiométrique



Le rendement η de ce diviseur de tension est le rapport P_R de la puissance dissipée dans la résistance de charge R à la puissance P_E fournie par la source de tension E . Exprimer η en fonction de r_1 , r_2 et R .

AN : $r_1 = 750 \Omega$, $r_2 = 250 \Omega$, $R = 80 \Omega$. Commentaire.

Exercice 4 : Adaptation de puissance



Un générateur présente une tension à vide E et une résistance interne R_0 . On y branche une charge de résistance R . Pour quelle valeur de R la puissance dissipée dans la résistance R est elle maximale ? Que vaut alors cette puissance ?

Semaine 02 (23/09-27/09)

Notions abordées :

- Circuits linéaires du premier ordre.

Questions de cours

1. Relation entre la charge d'un condensateur et sa tension aux bornes.
2. Relations entre intensité et tension pour un condensateur et une bobine.
3. Continuité des grandeurs dans un circuit électrique.
4. Établir l'expression de l'énergie stockée dans un condensateur/une bobine.

Exercice 1 : Résistance de fuite d'un condensateur

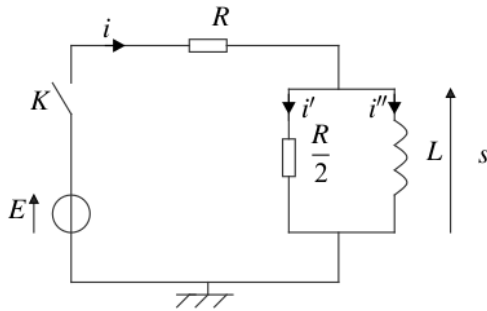
Un condensateur réel présente des fuites de courants. Comment le modéliser ?

Il est inséré dans un circuit série comportant un générateur de f.é.m E , une résistance r et un interrupteur K . On mesure la tension aux bornes du condensateur à l'aide d'un voltmètre idéal. On ferme K et on attend que l'indication du voltmètre se stabilise. Puis on ouvre K en déclenchant au même instant un chronomètre. On constate que la tension indiquée par le voltmètre baisse de 10% en un temps T .

On donne $E = 1\text{ V}$, $r = 10\text{ k}\Omega$, $T = 1.0\text{ s}$ et $C = 19\text{ }\mu\text{F}$.

1. Exprimer la valeur U vers laquelle la tension aux bornes du condensateur tend lorsque K est fermé. En déduire une manière de déterminer R_f (résistance de fuite).
2. Montrer que la mesure du temps T permet aussi de déterminer R_f . Commenter en relation avec l'une des hypothèses de l'énoncé.

Exercice 2 : Étude d'un circuit RL



À $t = 0^-$, on ferme l'interrupteur K .

1. Donner i , i' , i'' et s en $t = 0^+$.
2. Que vaut $s(t)$ lorsque t tend vers l'infini.
3. Établir l'équation différentielle vérifiée par $s(t)$.
4. En déduire $s(t)$. En tracer l'allure.
5. Exprimer le temps t_0 au bout duquel $s(t)$ a été divisé par 10.
6. On mesure $t_0 = 30 \mu\text{s}$ pour $R = 1.0 \text{ k}\Omega$. En déduire L .

Exercice 3 : Rendement énergétique de la charge d'un condensateur

On considère un circuit composé d'une résistance R et d'un condensateur de capacité C en série aux bornes duquel on place un générateur de tension idéal de f.é.m E et un interrupteur K . À l'instant $t = 0$, on ferme l'interrupteur K et la tension u_c aux bornes du condensateur est nulle.

1. Établir l'équation différentielle vérifiée par u_c .
2. Déterminer $u_c(t)$ et en tracer l'allure.
3. Mêmes questions pour l'intensité du courant parcourant le circuit.
4. Exprimer en fonction de C et E :
 - L'énergie \mathcal{E}_{elec} emmagasinée par le condensateur quand $t \rightarrow +\infty$.
 - L'énergie W_{Joule} dissipée par effet Joule dans la résistance entre $t = 0$ et $t \rightarrow +\infty$.
 - L'énergie W_{gen} fournie par le générateur entre $t = 0$ et $t \rightarrow +\infty$.
5. Donner une relation liant \mathcal{E}_{elec} , W_{Joule} et W_{gen} et proposer une interprétation physique de cette relation. Comment définir puis exprimer un rendement ?

Semaine 03 (30/09-04/10)

Notions abordées :

- Circuits linéaires du premier ordre (cf semaine précédente).
- Équilibre chimique.

Questions de cours

1. Une mole de méthane réagit avec une mole de dioxygène selon une réaction de combustion. Déterminer la composition finale du système. (Équilibrer + Tableau d'avancement + Avancement final pour une réaction totale).
2. Exprimer l'activité d'une espèce chimique dans un mélange. Préciser les hypothèses nécessaires.
3. Exprimer le quotient réactionnel d'une réaction donnée et prévoir le sens d'évolution spontanée d'un système chimique.

Exercice 1 : Fluoration du dioxyde d'uranium

Le dioxyde d'uranium solide réagit avec le fluorure d'hydrogène gazeux pour former du tétrafluorure d'uranium solide et de la vapeur d'eau.

On maintient la température égale à 700 K et la pression totale à 1 bar. La constante d'équilibre à 700 K est égale à $K^\circ = 6.8 \times 10^4$.

1. Écrire la réaction.
2. On part de 1.0 mol de dioxyde d'uranium et de 1.0 mol de fluorure d'hydrogène. Quelle sera la composition finale du système ?
3. Même question en partant de 0.10 mol de dioxyde d'uranium et de 1.0 mol de fluorure d'hydrogène. Que remarque-t-on dans ce cas ?

Réponses :

1. -
2. $\xi = 0.24 \text{ mol}$.
3. -

Exercice 2 : Constante d'équilibre et quotient de réaction.

Pour préparer industriellement du dihydrogène, on fait réagir en phase gazeuse du méthane avec de l'eau. La réaction produit également du monoxyde de carbone.

La réaction se déroule sous une pression totale constante $p_{tot} = 10$ bar. La constante d'équilibre vaut $K^\circ = 15$. Initialement, le système contient 10 mol de méthane, 30 mol d'eau, 5 mol de monoxyde de carbone et 15 mol de dihydrogène.

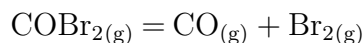
1. Exprimer la constante d'équilibre en fonction des pressions partielles des constituants.
2. Exprimer le quotient de réaction Q en fonction de la quantité de matière de chacun des constituants et de la pression totale. Calculer Q dans l'état initial.
3. Le système est-il à l'équilibre thermodynamique ? Si non, dans quel sens se produira l'évolution ?
4. Déterminer la composition du système à l'équilibre.

Réponses :

1. -
2. $Q = 1.56$.
3. -
4. $\xi = 3.6$ mol.

Exercice 3 : Utilisation du quotient de réaction.

Un récipient de volume $V_0 = 2.00$ L contient initialement 0.500 mol de COBr_2 qui se décompose à une température de 346 K selon la réaction :



.

1. Déterminer la composition du système à l'équilibre sachant que la constante d'équilibre à 346 K vaut $K^\circ = 5.46$.
2. Calculer le pourcentage de COBr_2 décomposé à cette température.
3. L'équilibre précédent étant réalisé, on ajoute 2.00 mol de monoxyde de carbone. L'équilibre chimique est-il réalisé ? Si non, décrire l'évolution ultérieure du système.

Réponses :

1. $\xi = 0.285 \text{ mol.}$
2. 57 \% .
3. $Q = 43.2, \xi' = 0.077 \text{ mol.}$

Semaine 04 (07/10-11/10)

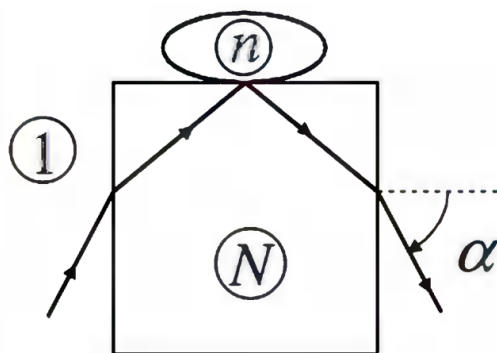
Notions abordées :

- Équilibre chimique (cf semaine précédente).
- Bases de l'optique géométrique.

Questions de cours

1. Énoncer les lois de Snell-Descartes.
2. Définir un rayon lumineux et un MTHI.
3. Indice de réfraction ? Phénomène de réflexion totale ?

Exercice 1 : Réfractomètre de Pulrich

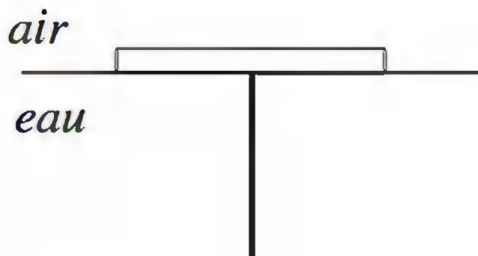


Un réfractomètre de Pulrich est constitué d'un cube de verre d'indice N connu sur lequel on a déposé une goutte d'un liquide d'indice n inconnu. On observe un faisceau de rayons parallèles à la limite réfraction - réflexion totale et on mesure l'angle α correspondant. On donne $N = 1.626$ et $\alpha = 60^\circ$.

1. Que vaut n ?
2. Quelles sont les valeurs mesurables de n avec ce dispositif ?

Réponse : $n = 1.376$

Exercice 2

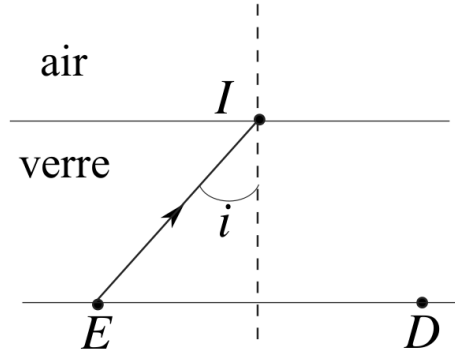


Un disque en liège de diamètre $D = 5 \text{ cm}$ flotte sur l'eau. Il soutient une tige placée perpendiculairement en son centre.

Quelle est la longueur h de la partie de la tige qu'un observateur dans l'air ne peut pas voir ?

Réponse : $h = 2.1 \text{ cm}$.

Exercice 3 : Détection de pluie sur un pare-brise



On modélise un pare-brise par une lame de verre à faces parallèles, d'épaisseur $e = 5 \text{ mm}$, d'indice $n_v = 1.5$. Un fin pinceau lumineux issu d'un émetteur situé en E arrive de l'intérieur du verre sur le dioptre verre/air en I avec un angle d'incidence $i = 60^\circ$.

1. Montrer que le flux lumineux revient intégralement sur le détecteur situé en D et déterminer la distance ED .
2. Comment ce dispositif permet-il de détecter un dépôt de pluie sur le pare-brise ? On supposera une épaisseur d'eau de 1 mm .

Réponses :

1. $i_{lim} = 41.8^\circ$.
2. Distance au détecteur de 0.9 cm .

Semaine 05 (14/10-18/10)

Notions abordées :

- Bases de l'optique géométrique (cf semaine précédente).
- Systèmes optiques.

Questions de cours

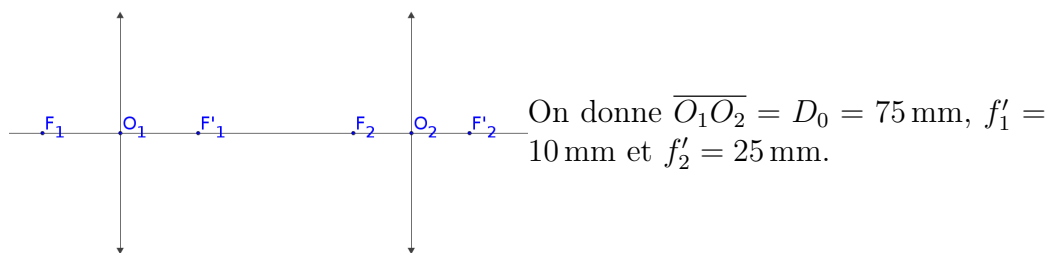
Cf exercices

Exercice 1 : Méthode de Bessel pour la focométrie

On considère un objet transverse (AB) et un écran distants de D , ainsi qu'une lentille convergente de focale f' .

1. Tracer les rayons dans le cas d'une image réelle.
2. À quelle condition peut-on former l'image de l'objet sur l'écran ? Démonstration.
3. Déterminer les positions de la lentille qui permettent d'obtenir une image sur l'écran. En déduire une méthode pour déterminer f' .

Exercice 2 : Microscope



1. Que sont les conditions de Gauss et à quoi servent elles ?
2. On pose $\Delta = \overline{F_1'F_2'}$. Exprimer Δ en fonction des données du problème. Calcul.
3. On souhaite qu'un œil au repos voie l'image $A'B'$ de AB par le système optique. Où est $A'B'$?
4. Où doit alors être l'image intermédiaire A_1B_1 ?
5. Exprimer la position de l'objet AB en fonction de f_1' et Δ . Calcul.
6. Étude du grossissement :

- (a) Quelle est la taille maximale de l'image que l'on peut avoir sur la rétine sans microscope ?
- (b) Quelle est la taille de l'image sur la rétine avec microscope ?
- (c) En déduire le "grossissement commercial" du microscope.

Exercice 3 : Lunette astronomique

On souhaite observer Mars. Soit α le diamètre angulaire sous lequel elle est vue à l'œil nu. Pour cela on utilise un système optique composé de deux lentilles convergentes de focales respectives $f'_1 = f'_{obj}$ et $f'_2 = f'_{oc}$ (l'oculaire est du côté de l'œil, l'objectif est du côté de l'objet Mars).

1. On utilise un système afocal. Définir afocal. En déduire la position relative des deux lentilles.
2. Faire le tracé des rayons. L'image est-elle droite ou renversée ?
3. Soit α' le diamètre angulaire en sortie du système optique. Exprimer le grossissement $G = \alpha'/\alpha$. Interpréter cette grandeur.
4. On veut augmenter le grossissement et renverser l'image. On interpose entre l'objectif et l'oculaire une troisième lentille convergente de focale f'_3 . On déplace l'oculaire pour pouvoir observer l'image au repos. Quel couple de points cette nouvelle lentille doit elle conjuguer ?
5. Faire le tracé des rayons.
6. Soit γ_3 le grandissement de la nouvelle lentille associé au couple de points de la question 4. Exprimer $\overline{O_3 F'_{obj}}$ en fonction de γ_3 et f'_3 .
7. Quel est le grossissement G' de ce nouveau système optique. Le comparer à G et conclure.

Exercice 4 : Stigmatisme d'une lame à faces parallèles

Une lame à faces parallèles d'épaisseur e est constituée d'un verre d'indice n . Elle est placée dans l'air.

1. Construire le cheminement d'un rayon arrivant sur le premier dioptré avec l'incidence i . Soit r l'angle de réfraction. Le rayon transmis par la lame est-il dévié par rapport au rayon incident ? Comment appeler la modification subie ?
2. On considère un objet ponctuel A sur le rayon incident. Calculer la distance entre le prolongement du rayon incident et le rayon transmis en fonction de e , i et r .

3. Rappeler ce qu'est le stigmatisme. Le système considéré est-il stigmatique ?
4. On se place maintenant dans les conditions de Gauss. Montrer que le système est approximativement stigmatique et déterminer la relation de conjugaison donnant $\overline{AA'}$ en fonction de n et e .
5. Dans un parc aquatique, les aquariums ont une épaisseur de verre de 60 cm. Situé à 20 cm de la vitre, un visiteur observe un requin marteau nageant à 1.0 m devant lui. À quelle distance semble-t-il être pour l'observateur ?

Réponse : $\overline{R'A} = 75.0 \text{ cm}$.

Semaine 06 (04/11-08/11)

Notions abordées :

- Systèmes optiques (cf semaine précédente).
- Cinétique chimique.

Questions de cours

1. Définir la vitesse d'une réaction chimique. Quelle est son unité ?
2. Qu'est ce que l'ordre d'une réaction chimique ? L'ordre partiel ? La constante de vitesse ?
3. Donner la loi d'Arrhenius.

Exercice 1 : Décomposition de l'azométhane en phase gazeuse

Dans un récipient de volume fixé V , on introduit à 600 K de l'azométhane $\text{CH}_3\text{N}_2\text{CH}_3(\text{g})$. Celui-ci se décompose en éthane et en diazote gazeux.

L'évolution de la réaction est suivie par manométrie et une série de mesures a donné la pression partielle p_A en azométhane :

| | | | | | |
|-------------------------|--------------|------|------|------|------|
| t (10^3 s) | 0 | 1.00 | 2.00 | 3.00 | 4.00 |
| p_A (10^{-2} mmHg) | $p_0 = 8.21$ | 5.74 | 4.00 | 2.80 | 1.96 |

1. Écrire l'équation bilan de la réaction.
2. Vérifier que la réaction est d'ordre 1 par rapport au réactif et calculer sa constante de vitesse.

Réponse : $k = 3.58 \times 10^{-4} \text{ s}^{-1}$

Exercice 2 : Temps de demi-réaction

La réaction de décomposition totale du pentaoxyde de diazote N_2O_5 en dioxyde d'azote NO_2 et dioxygène a lieu en phase gazeuse. L'expérience est menée dans un récipient de volume V constant, initialement vide, en amenant du pentaoxyde de diazote de manière à ce que la pression initiale soit p_0 .

1. On mesure la pression $p(t)$ au cours du temps. On veut évaluer la constante cinétique en mesurant le temps de demi-réaction. Quelle doit être la lecture de p sur le manomètre pour ce temps ?

2. Le tracé de la courbe $\ln p(\text{N}_2\text{O}_5)$ en fonction du temps est une droite. En déduire l'ordre de la réaction. Tracer l'allure de la pression en fonction du temps.
3. Une première mesure réalisée à $\theta = 150^\circ\text{C}$ permet de mesurer un temps de demi réaction $t_{1/2} = 7.5\text{s}$. Une seconde mesure réalisée à $\theta' = 100^\circ\text{C}$ permet de mesurer un temps de demi-réaction $t'_{1/2} = 7.0\text{min}$. Calculer la constante de vitesse pour ces deux températures.
4. Calculer l'énergie d'activation de la réaction.

Réponses :

1. $p_{1/2} = \frac{7}{4}p_0$.
2. -
3. $k = 9.2 \times 10^{-2}\text{s}^{-1}$ et $k' = 1.7 \times 10^{-3}\text{s}^{-1}$.
4. $E_a = 1.1 \times 10^2\text{kJ mol}^{-1}$.

Exercice 3 : Dismutation des ions hypochlorites

En solution aqueuse, les ions hypochlorite ClO^- peuvent se dismuter selon la réaction totale



La vitesse de la réaction r , définie comme la vitesse de disparition des ions hypochlorite ClO^- suit une loi cinétique de second ordre, dont la constante de vitesse est notée k .

On provoque cette réaction dans une solution contenant initialement des ions hypochlorite à la concentration $c_0 = 0.10\text{mol L}^{-1}$.

À $T = 343\text{K}$, la constante de vitesse de la solution est $k = 3.1 \times 10^{-3}\text{mol}^{-1}\text{dm}^3\text{s}^{-1}$.

L'énergie d'activation de cette réaction au voisinage des températures considérées ici est $E_a = 47\text{kJ mol}^{-1}$.

1. Donner l'équation horaire de la concentration en ions hypochlorite.
2. Au bout de combien de temps, noté t_{30} , aura-t-on obtenu la disparition de 30% des ions hypochlorite ?
3. Quel serait à $T' = 363\text{K}$ le temps t'_{30} nécessaire pour obtenir le même taux d'avancement de 30% à partir de la même solution initiale ?

Réponses :

1. -
2. $t_{30} = 23 \text{ min.}$
3. $t'_{30} = 9 \text{ min } 20 \text{ s.}$

Semaine 07 (11/11-15/11)

Notions abordées :

- Cinétique chimique (cf semaine précédente).
- Oscillateurs harmoniques.

Questions de cours

1. Établir et reconnaître l'équation d'un circuit LC . La résoudre compte tenu des conditions initiales.
2. Résoudre l'équation de l'oscillateur harmonique avec les conditions initiales $u(0) = 3E$ et $\dot{u}(0) = 4\omega E$. Quelle est la phase à l'origine ?
3. Dans le cadre du circuit LC libre montrer la conservation et l'équipartition de l'énergie (conditions initiales arbitraires).

Exercices de chimie cf semaine précédente.

Semaine 08 (18/11-22/11)

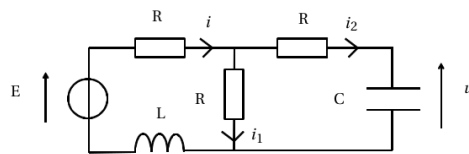
Notions abordées :

- Oscillateur harmonique (cf semaine précédente).
- Oscillateur amorti.

Questions de cours

1. Établir l'équation d'un circuit RLC série.
2. Donner l'équation de l'oscillateur amorti et ses solutions dans le cas général.
3. Résoudre l'équation de l'oscillateur harmonique avec les conditions initiales $u(0) = 3E$ et $\dot{u}(0) = 4\omega E$. Quelle est la phase à l'origine ?

Exercice 1 : Exemple de régime critique



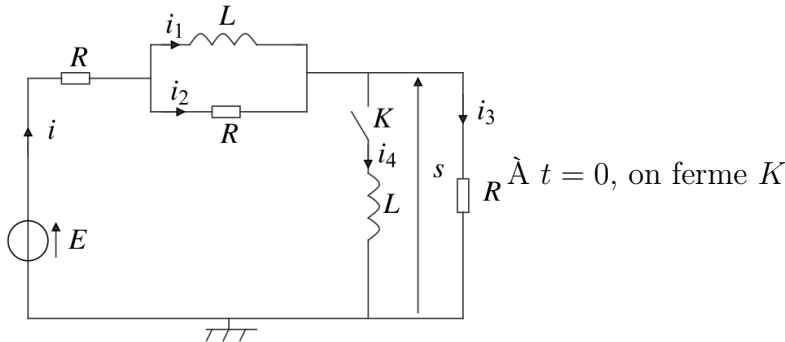
Initialement le condensateur est déchargé et aucun courant ne traverse la bobine.

1. Déterminer l'équation différentielle vérifiée par $u(t)$.
2. Quelle est la relation entre R , L et C pour vérifier la condition de régime critique ? On suppose cette condition vérifiée dans la suite.
3. Quelles sont les conditions initiales ? Déterminer également $u(\infty)$ et $i(\infty)$.
4. Déterminer $u(t)$.

Réponses :

1. $u'' + 1/2(3R/L + 1/RC)u' + u/LC = E/2LC$
2. $L = R^2C$
3. $u = 0, u' = 0$.
4. $u(t) = E/2 - E/2(1 + t/RC)e^{-t/RC}$

Exercice 2 : Étude d'un circuit à deux bobines

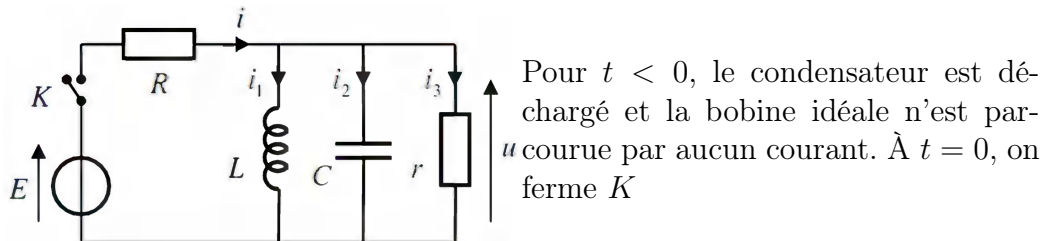


1. Établir l'équation différentielle vérifiée par $s(t)$.
2. Déterminer les conditions initiales pour i , i_1 , i_2 , i_3 et i_4 . Déterminer également leurs valeurs pour $t \rightarrow +\infty$.
3. Déterminer $s(t)$.

Réponses :

1. $3s'' + 4R/Ls' + (R/L)^2s = 0$
2. En $t = 0^+$, $i_1 = E/2R$, $i_3 = E/2R$, $i = E/R$, $i_2 = 0$, $i_4 = 0$.
3. $s(t) = \frac{E}{4} \left(\exp -\frac{R}{L}t + \exp -\frac{R}{3L}t \right)$

Exercice 3 : Réponse à un échelon de tension d'un dipôle RLC parallèle



1. Établir l'équation différentielle vérifiée par i_3 . La mettre sous forme canonique.
2. Déterminer les conditions initiales. Déterminer également la valeur de i_3 pour $t \rightarrow +\infty$.
3. Donner la relation entre R , r , L et C pour que le régime soit de type pseudopériodique et exprimer $i_3(t)$ dans ce cas.

Réponses :

1. $\omega_0 = \frac{1}{\sqrt{LC}}, \frac{\omega_0}{Q} = \frac{R+r}{RrC}.$
2. En $t = 0^+, u = 0, i_1 = 0, i_3 = 0, i = E/R, i_2 = E/R.$ En $t \rightarrow +\infty,$
 $u = 0, i = i_1 = E/R, i_2 = i_3 = 0$
3. $\frac{2rR}{R+r} > \sqrt{\frac{L}{C}}$

Semaine 09 (25/11-29/11)

Notions abordées :

- Oscillateurs.
- Propagation d'un signal

Questions de cours

1. Citer quelques exemples d'ondes. Préciser leurs caractéristiques (polarisation, milieu de propagation, ordre de grandeur de la célérité).
2. Qu'est-ce qu'une onde progressive ?
3. Qu'est ce qu'une onde progressive sinusoïdale ?

Exercices : cf semaine précédente

Semaine 10 (02/12-06/12)

Notions abordées :

- Propagation d'un signal (cf. semaine précédente).
- Phénomènes ondulatoires.

Questions de cours

1. Relation donnant la demi-largeur angulaire de la tâche centrale de diffraction par une fente de largeur a , avec une lumière de longueur d'onde λ .
2. Conditions d'interférences constructives et destructives en fonction du déphasage, puis de la différence de marche.
3. Lien entre l'intensité lumineuse et le signal lumineux. Cas d'un signal sinusoïdal. Pourquoi un capteur lumineux n'est-il sensible qu'à l'intensité lumineuse ?

Exercice 1 : Interférences acoustiques

Deux haut-parleurs S_1 et S_2 alimentés par le même signal $s(t) = s_0 \cos(\omega t)$ de fréquence $f = 2.0 \text{ kHz}$ sont disposés face à face en $x = 0$ et $x = L$. On place un microphone au point M d'abscisse x_M qui capte l'onde résultant de la superposition des ondes issues des deux émetteurs sachant que les ondes sonores issues de chaque haut parleur se propage à vitesse c et ont une longueur d'onde λ . En déplaçant le microphone, on repère des zones de l'espace où l'amplitude du signal prend des valeurs maximales.

1. Établir les expressions des signaux $s_1(t)$ et $s_2(t)$ correspondant aux ondes acoustiques émises par S_1 et S_2 .
2. En déduire le déphasage $\phi = \phi_2 - \phi_1$ entre les deux ondes au point M d'abscisse x en fonction de x , λ et L .
3. En déduire les positions x_c des points de l'espace où l'on observe des interférences constructives. Déterminer l'interfrange.
4. Retrouver ces valeurs en ne raisonnant qu'en terme de trajet parcouru par les ondes.
5. L'interfrange vaut 8.6 cm . En déduire la vitesse du son c .

Exercice 2 : Corde de Melde

On considère une corde de longueur L , fixée en O à gauche et libre d'osciller en M à droite.

1. Un opérateur fait osciller l'extrémité M de la corde verticalement, entre $-z_0$ et $+z_0$ à la pulsation ω . Écrire l'onde progressive qui se propage vers la gauche la vitesse c .
2. On rappelle que la corde est fixée en O . Justifier qu'il existe une onde réfléchie et l'écrire.
3. Calculer l'onde totale. Comment appelle-t-on une telle onde ?
4. On rappelle que le mouvement est forcé au point M . En déduire les pulsations possibles d'oscillation. Commenter.

Exercice 3 : La couleur bleue du papillon Morpho

Une source monochromatique ponctuelle S , située dans l'air, de longueur d'onde λ éclaire une couche transparente d'indice n et d'épaisseur e en I avec l'angle d'incidence i . Un rayon noté (1) est alors réfléchi dans l'air d'indice n_0 et un autre rayon (2) est réfracté avec un angle r puis réfléchi en bas de la couche au point J , avant d'être réfracté au point K avec un angle i' dans l'air.

Un observateur reçoit les deux rayons lumineux.

On admettra que la notion (AB) désigne la distance AB multipliée par l'indice du milieu dans lesquels sont A et B : $(AB) = nAB$.

1. Expliquer pourquoi les rayons (1) et (2) ressortent parallèles. En déduire qu'ils interfèrent sur la rétine.
2. La différence de marche est donnée par $\delta = (IJ) + (JK) - (IH) + \lambda/2$ où le dernier terme moins évident est lié à la réflexion en J . Exprimer δ en fonction de e , n , n_0 , i et λ .
3. L'aile du papillon morpho est composé de petites lamelles de chitine d'indice $n = 1,7$. On observe une couleur intense dans le bleu pour un angle de vue $i = 30^\circ$. Si toutefois on plonge l'aile dans l'acétone d'indice $n_0 = 1,4$, la couleur est verte. Expliquer ces phénomènes.

Semaine 11 (09/12-13/12)

Notions abordées :

- Phénomènes ondulatoires (cf. semaine précédente).
- Structure des entités chimiques.

Questions de cours

1. Établir de façon détaillée la configuration électronique de l'atome d'azote dans son état fondamental.
2. Établir de façon détaillée la représentation de Lewis de la molécule de dioxyde de carbone.
3. Évolution des propriétés dans le tableau périodique (Masse atomique (déf?), Électronégativité (déf?), éventuellement rayon atomique.)

Exercice : Formules de Lewis

1. HNO_2 , O_3 , N_3^- , SO_2 , SO_3 .
2. LiH , BeH_2 , BBr_3 , AlN , AlCl_3 .

Semaine 12 (16/12-20/12)

Notions abordées :

- Structure des entités chimiques (cf semaine précédente).
- Cinématique du point matériel.

Questions de cours

1. Expression du vecteur position \vec{OM} en coordonnées cartésiennes, polaires et cylindrique + dessin.
2. Expression du vecteur déplacement infinitésimal $d\vec{OM}$ en coordonnées cartésiennes, polaires et cylindriques.
3. Expression de l'accélération en coordonnées cartésiennes, polaires et cylindriques.

Exercice 1 : Fronde

Un jeune garçon s'amuse à faire tourner un caillou accroché au bout d'une corde de longueur $R = 1.2$ m dans un plan horizontal à une hauteur $h = 1.8$ m au-dessus du sol selon un mouvement circulaire. La vitesse devenant trop grande, la corde se casse et le caillou part horizontalement pour tomber à une distance $d = 9.1$ m de son point de décrochage. Il est soumis durant cette phase à la seule accélération de pesanteur g qu'on prendra égale en norme à $g = 9.8 \text{ m s}^{-2}$.

Quelle était l'accélération centripète radiale au moment de la rupture ?
Commentaire.

Réponse : 190 m s^{-2}

Exercice 2 : Balle lancée depuis une montgolfière

Une montgolfière se déplace à l'altitude $h = 100$ m constante avec une vitesse horizontale de 10 m s^{-1} . Un passager lance une balle vers le haut suivant la verticale mais du fait de l'entraînement horizontal dû au déplacement de la montgolfière, la vitesse initiale résultante de la balle est inclinée d'un angle $\alpha = 40^\circ$ par rapport à l'horizontale pour quelqu'un observant la chute depuis le sol. La balle subit alors une accélération descendante constante $g = 9.8 \text{ m s}^{-2}$.

1. Quelle est la durée de la chute ?

2. Déterminer le lieu où la balle touche le sol.
3. Déterminer la vitesse avec laquelle la balle arrive au sol.
4. Comparer les déplacements horizontaux de la balle et de la montgolfière. En déduire la nature de la trajectoire de la balle pour le passager de la montgolfière.

Exercice 3 : Cycliste sur piste

On s'intéresse à un cycliste, considéré comme un point matériel M qui s'entraîne sur un vélodrome constitué de deux demi-cercles reliés par deux lignes droites. La longueur des parties rectiligne est $L = 62$ m. Le rayon des demi-cercles est $R = 20$ m. Le cycliste part du point D , au milieu d'une des parties rectilignes, avec une vitesse nulle.

1. Il exerce un premier effort, ce qui se traduit par une accélération constante a_1 jusqu'à l'entrée E_1 du premier virage. Calculer le temps t_{E1} de passage en E_1 ainsi que la vitesse V_{E1} en fonction de a_1 et L .
2. Dans le premier virage, le cycliste a une accélération tangentielle constante et égale à a_1 . Déterminer le temps t_{S1} de passage en S_1 (sortie du virage) ainsi que la vitesse v_{S1} en fonction de a_1 , L et R .
3. De même, en considérant l'accélération tangentielle constante tout au long du premier tour et égale à a_1 , déterminer les temps t_{E2} , t_{S2} et t_D (après un tour), ainsi que les vitesses correspondantes.
4. La course s'effectue sur quatre tours (1 km) mais on ne s'intéresse qu'au premier effectué en $t_1 = 18.155$ s (Chris Hoy aux championnats du monde de 2007). Déterminer la valeur de l'accélération a_1 ainsi que la vitesse atteinte en D . La vitesse mesurée sur piste est d'environ 60 km h^{-1} . Que doit on modifier dans le modèle pour se rapprocher de la réalité?

Exercice 4 : Mouvement sur une ellipse

Un point M se déplace sur une ellipse d'équation cartésienne $\left(\frac{x}{a}\right)^2 + \left(\frac{y}{b}\right)^2 = 1$.

1. On note θ l'angle que fait \vec{OM} avec l'axe (Ox) .

Les coordonnées de \vec{OM} peuvent s'écrire $\begin{cases} x(t) &= \alpha \cos \omega t + \phi \\ y(t) &= \beta \sin \omega t + \psi, \end{cases}$ où

l'on suppose que ω est une constante.

1. À $t = 0$, le mobile est en M_0 , sur l'axe (Ox) et à une distance a de O . Déterminer α , ϕ et ψ .

2. Des autres données, déduire β .
3. Déterminer les composantes de la vitesse et de l'accélération.
4. Montrer que l'accélération est de la forme $\vec{a} = -\omega^2 O\vec{M}$. Commenter.

Semaine 13 (06/01-10/01)

Notions abordées :

- Structure des entités chimiques (cf semaine précédente).
- Cinématique du point matériel (cf semaine précédente).
- Dynamique du point matériel.

Questions de cours

1. Définir un référentiel. Définir un référentiel galiléen. Donner des exemples de référentiels galiléens ou non galiléens.
2. Donner les trois lois de Newton.
3. Déterminer l'équation différentielle des oscillations d'un pendule simple.

Exercice 1 : Descente et chute d'un skieur

Un skieur descend une piste faisant un angle α avec l'horizontale. On suppose une force de frottement de l'air \vec{F} de norme $\lambda||\vec{v}||$. On note \vec{T} et \vec{N} les composantes de la réaction de la neige sur les skis et f le coefficient de frottement. On rappelle que s'il y a glissement, on a $||\vec{T}|| = f||\vec{N}||$.

1. Exprimer T et N en fonction des paramètres du problème.
2. Établir l'équation différentielle en $v(t)$, la vitesse du skieur.
3. Montrer que le skieur atteint une vitesse limite v_L . L'exprimer en fonction de m , λ , f , g et α . A.N. $\lambda = 1.0 \text{ N s m}^{-1}$, $f = 0.9$, $g = 10 \text{ m s}^{-2}$, $m = 80 \text{ kg}$ et $\alpha = 45^\circ$.
4. Calculer la vitesse $v(t)$ et la position $x(t)$ du skieur en fonction de v_L , λ et m .
5. Calculer l'instant où le skieur atteint une vitesse $v_L/2$.
6. Il tombe et à partir de ce moment-là, on néglige la résistance de l'air mais le coefficient de frottement est multiplié par 10. Déterminer la distance parcourue avant de s'arrêter.

Réponses :

1. -
2. -
3. $v_L = 57 \text{ m s}^{-1}$

4. -
5. 55 s
6. 7.3 m

Exercice 2 : Un tour en traîneau

Un traîneau tiré par des chiens se déplaçant sur un sol horizontal est assimilé à un point matériel de masse $M = 5.0 \times 10^2$ kg. La réaction du support est $\vec{R} = \vec{T} + \vec{N}$. \vec{N} est la composante normale à la surface. \vec{T} est la composante tangentielle. On rappelle que

- le traîneau est immobile tant que $\|\vec{T}\| < \mu_s \|\vec{N}\|$,
 - s'il y a glissement, $\|\vec{T}\| = \mu_d \|\vec{N}\|$.
- avec $\mu_d = 5.0 \times 10^{-2}$ et $\mu_s = 8.0 \times 10^{-2}$.

On note \vec{F} la force de traction exercée par les chiens sur le traîneau et on admet $\|\vec{F}\| = F = F_0 - \beta \|\vec{v}\|$ avec $F_0, \beta > 0$.

1. Exprimer la valeur minimale de F_0 qui permet le démarrage du traîneau. Application numérique. Commentaire.
2. Le traîneau est en mouvement rectiligne. Déterminer l'équation différentielle sur la vitesse. On définira un temps caractéristique τ .
3. Exprimer la vitesse limite v_L atteinte par le traîneau en fonction des paramètres du problème.
4. Déterminer $v(t)$. Tracer son allure. Faire figurer le temps τ .
5. v_L est atteinte à 5% près au bout d'un temps $t_1 = 5.0$ s. Exprimer β en fonction de M et t_1 . Application numérique.
6. On donne $v_L = 3.0 \text{ m s}^{-1}$. En déduire F_0 . Commentaire.
7. Désormais à vitesse constante v_L , le traîneau aborde une courbe assimilée à un virage circulaire de rayon R et de centre O . Soit α l'angle entre \vec{F} et \vec{v} . Déterminer la norme F de la force exercée par les chiens, ainsi que $\tan \alpha$ en fonction de v_L , R , μ_d , g et M , afin de maintenir cette trajectoire circulaire.

Réponses :

1. $F_{0,min} = 392 \text{ N}$
2. -
3. -
4. -
5. $\beta = 300 \text{ kg/s}$

6. $F_0 = 1.1 \times 10^3 \text{ N}$

7. $\tan \alpha = \frac{v_L^2}{R\mu_d g}$ et $F = M \sqrt{\left(\frac{v_L^2}{R}\right)^2 + (\mu_d g)^2}$

Exercice 3 : Oscillations amorties d'un plateau

Une boule de pâte à modeler de masse $m = 250 \text{ g}$ tombe en chute libre d'une hauteur $h_0 = 40 \text{ cm}$ sur un plateau immobile, de masse négligeable et supporté par un ressort vertical. On considère qu'au moment du contact il n'y a pas de perte d'énergie cinétique, c'est-à-dire que la boule a la même vitesse juste avant le contact, et juste après lorsqu'elle est solidaire du plateau et se met à osciller avec lui.

L'origine des altitudes est prise à la position initiale du plateau.

1. Sachant que le ressort a pour raideur $k = 500 \text{ N/m}$, déterminer la hauteur h_1 dont s'affaisse le plateau. Quelle est la hauteur maximale h_2 atteinte par la boule lors des oscillations ? Commentaire.
2. En réalité, les oscillations sont amorties et le système finit par s'immobiliser. Calculer la hauteur à l'équilibre h_e .
3. On suppose que le frottement peut être modélisée par une force \vec{F} de norme $||\vec{F}|| = \lambda ||\vec{v}||$. Le plateau s'immobilise (à 5% près et à altitude h_e) au bout de $t = 10 \text{ s}$. Déterminer l'équation horaire de la trajectoire ainsi que la valeur de λ .

Exercice 4 : Pendule contrarié

Une masse ponctuelle m est accrochée à l'aide d'un fil sans masse de longueur l au point fixe O . On la lâche avec une vitesse nulle et avec un angle θ_0 . En dessous de O , à une distance $h < l$, est fixé un clou, de section négligeable. On suppose que m a la même vitesse juste avant et juste après le contact du fil en A .

À quelle condition sur θ_0 , la masse fait elle un tour entier autour de A , fil tendu ?

Semaine 14 (13/01-17/01)

Notions abordées :

- Dynamique du point matériel (cf. semaine précédente).
- Travail et énergie.

Questions de cours

1. Démontrer le théorème de la puissance cinétique.
2. Définir une force conservative. Calculer l'énergie potentielle d'un ressort.
3. Comment l'énergie potentielle détermine-t-elle les positions d'équilibre et leur stabilité ?

Exercice 1 : Le sport fait-il maigrir ?

On considère un cycliste assimilé à un point matériel de masse $m = 90 \text{ kg}$ montant une côte modélisée par un segment OA incliné d'un angle α . Le dénivelé entre O et A est noté $h = 50 \text{ m}$ et la distance parcourue par le vélo dans la côte $L = 1000 \text{ m}$.

On note $g = 9.8 \text{ m s}^{-2}$ l'accélération de pesanteur.

Les frottements de l'air sont modélisés par une force $\overrightarrow{f_{air}} = -\lambda \|\vec{v}\| \vec{v}$ avec $\lambda = 0.21 \text{ SI}$.

Le cycliste subit également une force de frottement solide s'opposant à son mouvement. On note sa composante tangentielle \vec{T} , sa composante normale \vec{N} . On rappelle que $\|\vec{T}\| = f \|\vec{N}\|$ avec $f = 8.0 \times 10^{-3}$.

On note \vec{F} la force motrice que le cycliste déploie en pédalant pour faire monter le vélo dans la direction de la pente.

Le cycliste monte la côte à vitesse constante.

1. Quelle est l'unité de λ ?
2. Déterminer α .
3. Faire un schéma en faisant figurer les différentes forces.
4. Déterminer la valeur de la force motrice en fonction de la vitesse.
Application numérique pour une vitesse $v_1 = 15 \text{ km h}^{-1}$.
5. En déduire la puissance P_{montee} développée par la force motrice dans cette montée. Sachant que le rendement mécanique des muscles du corps humain n'est que de l'ordre de $\eta = 23\%$, déterminer la puissance effectivement fournie par le cycliste.

Dans la suite, on souhaite retrouver ce résultat par une méthode purement énergétique.

6. Exprimer l'énergie potentielle de pesanteur E_p . En déduire la variation d'énergie mécanique ΔE_m entre le début et la fin de la montée effectuée à vitesse constante.
7. Calculer le travail de la force de frottement solide \vec{T} . Que vaut le travail de la composante normale ? Exprimer le travail des frottements de l'air.
8. En déduire le travail développé par la force motrice. Application numérique. Quelle est l'énergie dépensée par le cycliste, en prenant compte le rendement musculaire η ? En déduire à nouveau la puissance fournie par le cycliste.
9. Sachant qu'une calorie vaut 4.18 J et que la consommation de 100 g de sucre fournit une énergie de 400 kcal, estimer la masse de sucre à ingérer pour fournir cet effort durant le temps t_1 . Sachant que 100 g de lipides fournissent 900 kcal au corps humain, quelle est la masse maximale de graisse brûlée lors de cette montée ?

Réponse : 14 g de sucre ou 6.3 g de graisse.

Exercice 2 : Molécule diatomique

On considère une molécule diatomique formée de deux atomes M_1 et M_2 ponctuels, partiellement ionisés et de charges respectives $q_1 = +\delta e$ et $q_2 = -\delta e$.

On suppose M_1 immobile dans un référentiel galiléen, à l'origine d'un repère cartésien, et l'étude concerne le mouvement de M_2 selon l'axe (Ox) .

L'énergie potentielle de M_2 est bien représentée par

$$E_p(x) = -\frac{\delta^2 e^2}{4\pi\epsilon_0 x} + \frac{A}{x^9},$$

avec A constante positive.

1. Indiquer si chacun des termes de l'énergie potentielle correspond à une force attractive ou répulsive. Donner une signification physique de ces termes.
2. Tracer l'allure de $E_p(x)$.
3. Donner la valeur x_e de la position à l'équilibre. L'équilibre est-il stable ?
4. En s'intéressant aux petites oscillations autour de la position d'équilibre, déterminer la fréquence de vibration de la molécule en fonction de δe , ϵ_0 , x_e et m .

Exercice 3 : Bifurcation mécanique

On s'intéresse à une bifurcation, c'est-à-dire une modification du nombre de positions d'équilibre et de leur stabilité, en fonction de la variation d'un paramètre expérimental.

Le système considéré est constitué d'un point matériel M de masse m . Il est astreint à se déplacer selon un axe horizontal (Ox) est fixé à l'extrémité d'un ressort (k, l_0) . L'autre extrémité R du ressort est fixée à une altitude l par rapport à l'origine O .

On posera $\omega_0 = \sqrt{\frac{k}{m}}$.

1. Faire un schéma précis du montage.
2. Qualitativement, déterminer le nombre de positions d'équilibre dans les cas $l > l_0$ et $l < l_0$.
3. On se place à l quelconque. Déterminer l'expression de l'énergie potentielle du système à partir du calcul du travail élémentaire des forces.
4. Retrouver ce résultat en explicitant l'énergie potentielle élastique associée au ressort.
5. Déterminer les expressions des positions d'équilibre en distinguant les cas $l > l_0$ et $l < l_0$.
6. Pour chacune des positions d'équilibre trouvée, étudier sa stabilité.
7. Tracer sur un même graphe les positions d'équilibre en fonction de l en précisant leur stabilité. Justifier le nom de bifurcation fourche donné à cette situation.
8. On dit également qu'il s'agit d'une bifurcation à brisure de symétrie. Justifier cette expression.

Semaine 15 (20/01-24/01)

Notions abordées :

- Travail et énergie (cf. semaine précédente).
- Mouvements de particules dans un champ électrique.

Questions de cours

1. Donner l'expression de la force électrostatique de Coulomb et l'énergie potentielle associée.
2. Montrer qu'un champ magnétique seul ne peut pas modifier l'énergie cinétique d'une particule chargée.
3. Exprimer la variation d'énergie potentielle associée à la force électrique (en fonction de la variation du potentiel électrique).

Exercice 1 : Accélération et déviation d'un électron par différence de potentiel

Soient deux plaques planes horizontales écartées d'une distance d et chargées de charges opposées. La plaque positive est au-dessus.

1. Déterminer, en explicitant les approximations nécessaires, les caractéristiques du champ électrique pour $U = 1000 \text{ V}$ et $d = 10 \text{ cm}$.
2. Un électron de masse $m = 9.1 \times 10^{-31} \text{ kg}$ et de charge $-e = -1.6 \times 10^{-19} \text{ C}$ pénètre à une distance $d' = 2.0 \text{ cm}$ de la plaque négative avec une vitesse d'entrée \vec{v}_0 parallèle aux plaques et de norme $v_0 = 2.0 \times 10^4 \text{ m s}^{-1}$. Justifier que le poids est négligeable.
3. Déterminer la longueur l que doivent avoir les plaques pour que l'électron atteigne la plaque positive.
4. Expliciter les caractéristiques (norme et inclinaison) de la vitesse de l'électron quand il arrive sur la plaque positive.

Exercice 2 : Accélération de particules α

Les particules α sont des noyaux d'hélium, de masse $m = 6.6 \times 10^{-27} \text{ kg}$ qui sont émises par radioactivité et qui sont beaucoup utilisées en physique des particules. On considère un faisceau de particules α de vitesse $v_0 = 2000 \text{ m s}^{-1}$ qui pénètrent dans une zone où règne un champ électrostatique uniforme

\vec{E} d'intensité 1000 V/m. Le champ électrostatique et la vitesse initiale sont colinéaires de sens opposé.

On rappelle la valeur de la charge élémentaire $e = 1.6 \times 10^{-19}$ C

1. Quelle est la charge d'une particule α ?
2. Montrer que l'on peut négliger le poids de la particule.
3. Décrire le mouvement d'une particule α . Déterminer le point de demi-tour.
4. Expliciter la durée passée par la particule α dans la zone où règne le champ électrostatique ainsi que les caractéristiques de sa vitesse quand elle ressort.
5. Par une analyse énergétique, retrouver la distance parcourue avant le demi-tour ainsi que la vitesse à la sortie du champ.

Exercice 3 : Principe d'un oscilloscope analogique

Un oscilloscope analogique est constitué d'un canon à électrons et d'une zone de déviation. On rappelle la masse de l'électron $m = 9.1 \times 10^{-31}$ kg et sa charge $-e = -1.6 \times 10^{-19}$ C.

1. Considérons tout d'abord le canon à électrons. Il permet d'accélérer des électrons d'une vitesse négligeable à une vitesse v_0 , en leur appliquant une tension $V = 600$ V. Déterminer, en justifiant les approximations, la vitesse v_0 . La mécanique classique est-elle encore valable ?
2. À la sortie du canon, les électrons pénètrent à la vitesse v_0 entre deux plaques planes horizontales entre lesquelles on applique la tension $U = 2.0$ V prélevée en entrée de l'oscilloscope. On suppose que le faisceau d'électrons arrive à égale distance des deux plaques avec une vitesse horizontale. Les plaques sont de longueur $l = 25$ mm et distantes de $d = 10$ mm.
 - (a) Sur un schéma, faire figurer les plaques et leurs dimensions, leur potentiel, la tension U , le champ électrique \vec{E} et le faisceau d'électrons.
 - (b) Déterminer les équations du mouvement d'un électron.
 - (c) En déduire l'ordonnée y_S où se produit la sortie des plaques.
 - (d) Déterminer la vitesse de l'électron à la sortie des plaques.
3. Finalement, on place un écran à une distance $D = 10$ cm de l'extrémité des plaques. Quelle est la position y_E du point d'impact de l'électron sur l'écran ? Commenter l'expression en regard de l'utilité d'un oscilloscope. Commenter la valeur numérique.

Réponse : $y_E = \frac{eUl}{mdv_0^2} \left(D + \frac{l}{2} \right) = 0.50 \text{ mm}$

Semaine 16 (27/01-31/01)

Notions abordées :

- Travail et énergie (cf. semaine précédente).
- Mouvements de particules chargées.

Questions de cours

1. Relier la variation d'énergie cinétique d'un point matériel dans un champ électrique à la différence de potentiel.
2. Montrer qu'un champ magnétique seul ne permet pas de faire varier l'énergie cinétique d'un point matériel.
3. Déterminer le rayon de la trajectoire d'une charge q dans un champ magnétique.

Exercice 1 : Spectromètre de masse

Des ions positifs de vitesse initiale nulle, de charge q et de masse m issus d'une chambre d'ionisation sont accélérés par une tension $U = 4.0 \text{ kV}$ appliquée entre la sortie de la chambre d'ionisation et une cathode horizontale percée d'un trou O .

Au-delà du point O , les ions pénètrent dans une zone où règne un champ magnétique \vec{B} perpendiculaire à leur vitesse avec $B = 0.70 \text{ T}$.

Les ions positifs sont des isotopes 24 et 26 des ions Mg_2^+ .

1. Sur un schéma, faire figurer les différentes zones ainsi que la trajectoire des deux isotopes.
2. Déterminer la vitesse v_0 avec laquelle les ions passent par le trou O en fonction de U , q et m .
3. Quelle est la trajectoire des ions dans le champ magnétique ? On donnera notamment le rayon R de la trajectoire en fonction de m , q , B et v_0 puis en fonction de m , q , B et U .
4. Calculer la distance d entre les points d'impact des deux isotopes sur une plaque parallèle au plan du trou O .

Exercice 2 : Cyclotron

On considère un cyclotron. Il s'agit d'un dispositif pour accélérer des particules chargées. On s'intéresse à des protons. Il est constitué de trois

zones. La zone 1 occupe l'espace $x < -d/2$. La zone 3 occupe l'espace $x > d/2$. La zone 2 est entre les deux.

Dans les zones 1 et 3 règne un champ magnétique $\vec{B} = B_0 \vec{e}_z$. Elles servent à faire faire demi-tour aux protons. Dans la zone 2 règne un champ électrique $\vec{E} = E(t) \vec{e}_x$ avec $E(t)$ qui vaut alternativement $+E_0$ puis $-E_0$ avec une période T_E . La zone 2 sert à accélérer les protons.

La valeur absolue de la tension dans la zone 2 vaut $|U| = 100 \text{ kV}$.

On donne $B_0 = 1.47 \text{ T}$.

1. Dessiner la trajectoire d'un proton émis avec une vitesse nulle depuis l'interface 1 – 2. Faire figurer les champs magnétiques et électriques.
2. Montrer que la norme de la vitesse est constante dans la zone 3.
3. Montrer, en le calculant, que le temps de demi-tour dans la zone 3 est indépendant de la vitesse du proton.
4. On néglige le temps de passage dans la zone 2. En déduire la période T_E .
5. Montrer que le rayon de la n-ème trajectoire dans un champ magnétique est donné par $R_n = R_1 \sqrt{n}$.
6. Déterminer l'ordonnée y_n du centre de chaque trajectoire circulaire en supposant que le proton est initialement lâché en $y = 0$.
Le proton sort du cyclotron lorsqu'il atteint le rayon du cyclotron $\rho = 10.0 \text{ cm}$.
7. En déduire l'énergie cinétique en MeV d'un proton quand il quitte le cyclotron, le nombre de tours effectués et la durée nécessaire.
8. La mécanique classique est-elle toujours valable ?

Réponse : La durée passée dans le cyclotron se situe entre $t_6 = 1.34 \times 10^{-7} \text{ s}$ et $t_7 = 1.56 \times 10^{-7} \text{ s}$.

Exercice 3 : Effet Zeeman

On considère un électron M de masse m et de charge $-e$ élastiquement lié au noyau O d'un atome par une force de rappel $\vec{F} = -k \overrightarrow{OM}$.

1. Justifier que l'interaction noyau-électron peut effectivement être modélisée par une force de rappel élastique.
2. Déterminer l'expression de la pulsation de rotation ω_0 .

3. Des expériences d'absorption d'ondes électromagnétiques montrent que les ondes de longueur d'onde $\lambda = 656.3 \text{ nm}$ sont particulièrement absorbées. En déduire k .

On plonge maintenant le système dans un champ magnétique $\vec{B} = B_0 \vec{e}_z$. On supposera $\frac{eB_0}{m\omega_0} \ll 1$.

4. Projeter les équations du mouvement selon (Ox) et (Oy) .
5. On cherche des solutions $x(t)$ et $y(t)$ sinusoïdales. Montrer qu'il n'y a que deux pulsations possible. Les exprimer.
6. En déduire l'écart $\delta\lambda$ entre les deux nouvelles longueur d'onde des ondes possiblement absorbées par ce système.
7. On suppose que l'on peut mesurer des écarts en longueur d'onde supérieurs à $\delta\lambda_{min} = 0.1 \text{ nm}$. En déduire le champ magnétique minimal que ce dispositif permet de mesurer.

MPI

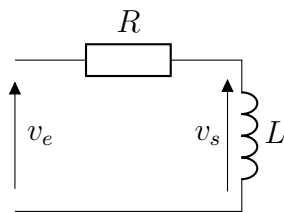
Semaine 02 (23/09-27/09)

Notions abordées :

- Révisions de MPSI en électronique.
- Filtrage d'un signal périodique.

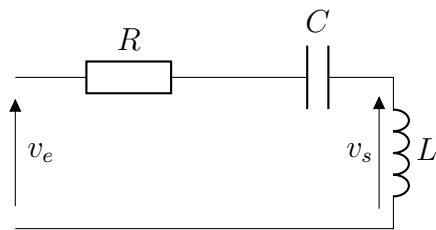
Exercice 1

On donne $R = 1.0 \text{ k}\Omega$ et $L = 10 \text{ mH}$.



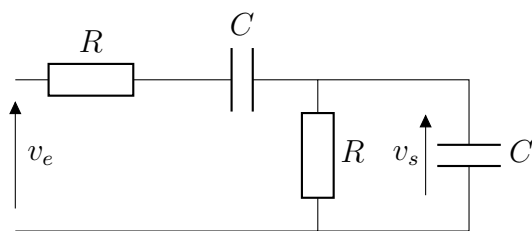
1. Quel type de filtre ce circuit permet-il de réaliser ?
2. Déterminer sa fonction de transfert.
3. Déterminer les pentes des asymptotes en gain BF et HF.
4. v_e s'écrit comme somme de trois harmoniques de même amplitude, de même phase à l'origine et de fréquences respectives $f_1 = 100 \text{ Hz}$, $f_2 = 1 \text{ kHz}$ et $f_3 = 100 \text{ kHz}$. Écrire v_e puis v_s .
5. v_e est maintenant un triangle de fréquence 60 Hz . Quelle est la forme de v_s ?

Exercice 2



1. Quel type de filtre ce circuit permet-il de réaliser ?
2. Déterminer sa fonction de transfert.
3. Déterminer les pentes des asymptotes en gain BF et HF. Tracer le diagramme de Bode asymptotique.
4. v_e s'écrit comme somme de trois harmoniques de même amplitude, de même phase à l'origine et de fréquences respectives $f_1 = 100 \text{ Hz}$, $f_2 = 1 \text{ kHz}$ et $f_3 = 100 \text{ kHz}$. Écrire v_e puis v_s .
5. Ce filtre peut-il avoir un comportement dérivateur ? Intégrateur ?

Exercice 3



On donne $R = 1.0 \text{ k}\Omega$ et $C = 500 \text{ nF}$.

1. Quel type de filtre ce circuit permet-il de réaliser ?
2. Déterminer sa fonction de transfert.
3. Déterminer la bande passante. Définir le facteur de qualité.
4. v_e s'écrit comme somme de trois harmoniques de même amplitude, de même phase à l'origine et de fréquences respectives $f_1 = 100 \text{ Hz}$, $f_2 = 1 \text{ kHz}$ et $f_3 = 100 \text{ kHz}$. Écrire v_e puis v_s .

Semaine 03 (30/09-04/10)

Notions abordées :

- Électronique de MPSI.
- Filtrage d'un signal périodique.
- Numérisation.
- Portes logiques.

Exercice 1 : Intégration d'un créneau par un filtre passe bande

Une tension créneau est injectée dans un filtre passe-bande non inverseur d'ordre 2, de pulsation de résonance ω_0 , de facteur de qualité Q et de gain maximum G_0 . La pulsation ω de la tension créneau est supposée grande devant ω_0 .

1. Écrire la fonction de transfert du filtre.
2. Montrer que ce filtre se comporte vis-à-vis du créneau d'entrée comme un intégrateur.
3. Écrire l'équation différentielle reliant la tension d'entrée $v_e(t)$ et la tension de sortie $v_s(t)$ de l'intégrateur. Qu'obtient-on précisément en sortie du filtre ? Comment seraient modifiés les résultats si on ajoutait une tension continue au créneau à l'entrée ?

Exercice 2 : Shannon comme au cinéma

Au cinéma, lorsqu'on regarde les roues d'une voiture qui démarre, on les voit d'abord tourner dans le sens réel puis elles semblent tourner à l'envers. Expliquer d'où provient cette illusion. Qu'observe-t-on en visionnant le film lorsque les roues de la voiture tournent à $f_1 = 1200$ tours/min ? Et à $f_2 = 1680$ tours/min.

Semaine 04 (07/10-11/10)

Notions abordées :

- Électrocinétique.
- Mécanique de MPSI.

Exercice 1 : Système à deux ressorts

On considère une masse m astreinte à se déplacer sur un axe horizontal (Ox) et fixée à une paroi à gauche et une à droite par deux ressorts identiques (k, l_0) . Les parois sont distantes de L .

1. Appliquer le principe fondamental de la dynamique à la masse m .
2. En déduire la position d'équilibre x_e .
3. Étudier les petites oscillations autour de la position d'équilibre.
4. On envisage l'existence d'un frottement fluide d'intensité proportionnelle à la vitesse via une constante β . Établir l'équation différentielle du mouvement. Pour quelles valeurs de β la masse m oscille-t-elle ?
5. Comment choisir β pour un retour le plus rapide à la position d'équilibre. Quel est le temps caractéristique d'amortissement ?

Exercice 2 : Frottement et facteur de qualité

On considère un ressort horizontal de constante de raideur k et de longueur à vide l_0 . Une extrémité du ressort est fixe et l'autre attachée à un mobile de masse m . Le mobile subit une force de frottement fluide proportionnelle à sa vitesse via une constante β .

1. Déterminer l'équation différentielle du mouvement. Introduire une pulsation propre et un facteur de qualité.
2. Résoudre l'équation différentielle. Simplifier l'expression dans le cas $Q \gg 1$.
3. En déduire que Q est une bonne approximation du nombre d'oscillations avant le retour à l'équilibre.
4. On considère maintenant l'énergie mécanique relative perdue sur une pseudo-période. L'exprimer en fonction de Q .
5. On considère maintenant un opérateur qui impose une force $F(t) = mA \cos \omega t \vec{e}_x$. Déterminer la fonction de transfert du système et interpréter Q d'une nouvelle façon.

Exercice 3 : Mouvement autour d'une position d'équilibre

Soit un point matériel de masse m astreint à se déplacer selon un axe (Ox) et d'énergie potentielle $E_p(x) = \frac{-a}{x^2} + \frac{b}{x^3}$ avec $a, b > 0$.

1. Montrer en général qu'une position d'équilibre correspond à un extremum local d'énergie potentiel. À quelle condition une position d'équilibre est-elle stable ? instable ?
2. Tracer le profil d'énergie potentiel.
3. Déterminer la ou les position(s) d'équilibre ainsi que leur stabilité.
4. Étudier les petites oscillations autour de la position d'équilibre stable.
5. Déterminer, dans le cas d'une énergie potentielle générale, l'expression de la pulsation des petites oscillations.

Semaine 04 (14/10-18/10)

Notions abordées :

- Mécanique de MPSI (forces centrales).
- Dynamique en référentiel non galiléen.

Exercice 1 : Force en $1/r^4$

On considère un point matériel de masse m soumis à la force $\vec{F} = \frac{-K}{r^4} \vec{e}_r$, avec $K > 0$.

1. Montrer que le mouvement est plan et qu'il vérifie la loi des aires.
2. Définir une énergie potentielle effective et la tracer.
3. Discuter graphiquement les trajectoires possibles. Justifier. Existe-t-il une trajectoire circulaire ?

Exercice 2 : Satellite géostationnaire

1. Définir un satellite géostationnaire et déterminer son orbite. Justifier.
2. Quel travail faut-il fournir pour l'élever en altitude de 50 km ?
3. L'essence à une énergie spécifique de 13.1 kWh/kg et une masse volumique de 745 kg m^{-3} . En déduire le volume de carburant nécessaire pour effectuer la manœuvre.

Réponses :

1. $42 \times 10^3 \text{ km}$
2. $5.7 \times 10^6 \text{ J}$
3. 0.13 kg et 0.16 L.

Exercice 3 : Chute d'un satellite dans l'atmosphère

1. Un satellite est en orbite circulaire autour de la Terre. Montrer qu'il existe une relation simple entre E_c et E_p . Exprimer l'énergie mécanique en fonction de r .
2. Comment évolue la vitesse d'un satellite freiné par l'atmosphère ?
3. Son altitude est $h = 180 \text{ km}$ et la force de frottement a pour norme $\beta m v^2 / h$.
(a) Préciser l'unité de β .

- (b) Déterminer la variation d'altitude Δh après une révolution. On proposera les hypothèses appropriées.

Réponse : $\Delta h = -28.3 \text{ m}$.

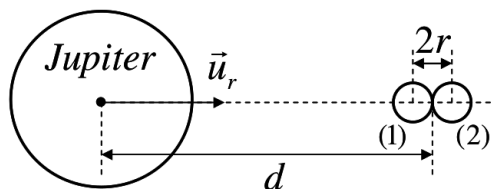
Exercice 4 : Pendule pesant dans une voiture accélérée

Une tige homogène de longueur l et de masse totale m est accrochée en un point A du plafond d'une voiture. La voiture est en translation rectiligne d'accélération a par rapport au référentiel terrestre supposé galiléen.

Le moment d'inertie de la tige par rapport au point A est $J = \frac{1}{3}ml^2$. On admet que le point d'application de la force d'inertie d'entraînement est le centre d'inertie de la tige.

1. Déterminer l'angle d'équilibre du pendule dans le référentiel de la voiture.
2. Déterminer la période T des petites oscillations du pendule autour de la position d'équilibre.

Exercice 5 : Limite de Roche



On cherche à déterminer la distance en dessous de laquelle une comète s'approchant de Jupiter se sépare en plusieurs morceaux sous l'effet des forces de marée dues à Jupiter.

On modélise la comète par deux sphères identiques de masses m et de rayon r , alignées comme sur le dessin. On suppose que la comète est en orbite circulaire de rayon d autour de Jupiter.

1. Montrer que le mouvement du centre d'inertie de la comète est uniforme. Quelle est la nature du mouvement du référentiel de la comète par rapport au référentiel de Jupiter ?
2. Soit \vec{R} la réaction de la sphère (1) sur la sphère (2). Dans le référentiel de la comète, appliquer le PFD à une des deux sphères.
3. À quelle condition le contact entre les sphères est-il rompu ? Déterminer, sachant que $r \ll d$, la distance limite d_{lim} en dessous de laquelle il ne peut exister de comètes.

Données : $M_J = 1.9 \times 10^{27} \text{ kg}$, $R_J = 7.1 \times 10^4 \text{ km}$ et masse volumique de la comète $\rho_c = 1.0 \times 10^3 \text{ kg m}^{-3}$.

Réponse : $d_{lim} = 1.8 \times 10^5 \text{ km}$.

Exercice 6 : Usure d'une ligne de TGV

Un train grande vitesse se dirige vers le sud, depuis Paris (latitude 48.8°). On considère son mouvement dans le référentiel terrestre non galiléen. Montrer qu'apparaît une réaction horizontale de la voie sur le train. La comparer à la réaction verticale.

Exercice 7 : Impesanteur

Existe-t-il un endroit où $\vec{g} = \vec{0}$? Commenter la valeur numérique obtenue.

Réponse : $42 \times 10^3 \text{ km}$

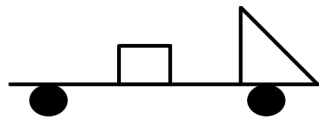
Semaine 06 (04/11-08/11)

Notions abordées :

- Mécanique de MPSI.
- Dynamique en référentiel non galiléen.
- Lois du frottement de Coulomb.

Exercice 1 : Glissement d'une caisse dans un camion

Le camion accélère avec l'accélération constante a .



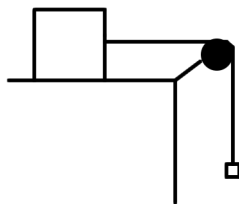
1. À quelle condition le glissement commence-t-il ?
2. Au bout de combien de temps la caisse atteint-elle le rebord ?
3. Quelle distance parcourt-elle après être tombée ?
4. La caisse glisse-t-elle ou bascule-t-elle lors de l'accélération ?

Exercice 2 : Cube sur un plan incliné

Un cube repose sur un plan incliné d'un angle α . On augmente α très lentement.

1. À quelle condition le glissement commence-t-il ?
2. À quelle condition le cube bascule-t-il ?
3. Qu'est ce qui arrive en premier ? On donne le coefficient de frottement bois-bois $f = 0.4$.

Exercice 3 : Glissement et liaison avec une corde



Deux caisses sont liées par une corde qui passe par une poulie. On prend en compte le frottement de la grosse caisse sur la surface. En précisant les hypothèses utilisées, déterminer l'altitude de la caisse suspendue en fonction du temps.

Semaine 07 (11/11-15/11)

Notions abordées :

- Transformations chimiques d'un système.
- Acides et bases, réactions acide-base.

Questions de cours :

1. Une mole de méthane réagit avec une mole de dioxygène selon une réaction de combustion. Déterminer la composition finale du système.
2. Exprimer l'activité d'une espèce chimique pure, en phase condensée ou très diluée en solution aqueuse.
3. Exprimer le quotient réactionnel d'une réaction donnée et prévoir le sens d'évolution spontanée d'un système chimique.

Exercice 1 : Fluoration du dioxyde d'uranium

Le dioxyde d'uranium solide réagit avec le fluorure d'hydrogène gazeux pour former du tétrafluorure d'uranium solide et de la vapeur d'eau.

On maintient la température égale à 700 K et la pression totale à 1 bar. La constante d'équilibre à 700 K est égale à $K^\circ = 6.8 \times 10^4$.

1. Écrire la réaction.
2. On part de 1.0 mol de dioxyde d'uranium et de 1.0 mol de fluorure d'hydrogène. Quelle sera la composition finale du système ?
3. Même question en partant de 0.10 mol de dioxyde d'uranium et de 1.0 mol de fluorure d'hydrogène. Que remarque-t-on dans ce cas ?

Réponses :

1. -
2. $\xi = 0.24 \text{ mol}$.
3. -

Exercice 2 : Constante d'équilibre et quotient de réaction.

Pour préparer industriellement du dihydrogène, on fait réagir en phase gazeuse du méthane avec de l'eau. La réaction produit également du monoxyde de carbone.

La réaction se déroule sous une pression totale constante $p_{tot} = 10$ bar. La constante d'équilibre vaut $K^\circ = 15$. Initialement, le système contient 10 mol de méthane, 30 mol d'eau, 5 mol de monoxyde de carbone et 15 mol de dihydrogène.

1. Exprimer la constante d'équilibre en fonction des pressions partielles des constituants.
2. Exprimer le quotient de réaction Q en fonction de la quantité de matière de chacun des constituants et de la pression totale. Calculer Q dans l'état initial.
3. Le système est-il à l'équilibre thermodynamique ? Si non, dans quel sens se produira l'évolution ?
4. Déterminer la composition du système à l'équilibre.

Réponses :

1. -
2. $Q = 1.56$.
3. -
4. $\xi = 3.6$ mol.

Exercice 3 : Utilisation du quotient de réaction.

Un récipient de volume $V_0 = 2.00$ L contient initialement 0.500 mol de COBr_2 qui se décompose à une température de 346 K en monoxyde de carbone et en dibrome gazeux.

1. Déterminer la composition du système à l'équilibre sachant que la constante d'équilibre à 346 K vaut $K^\circ = 5.46$.
2. Calculer le pourcentage de COBr_2 décomposé à cette température.
3. L'équilibre précédent étant réalisé, on ajoute 2.00 mol de monoxyde de carbone. L'équilibre chimique est-il réalisé ? Si non, décrire l'évolution ultérieure du système.

Réponses :

1. $\xi = 0.285$ mol.
2. 57 %.
3. $Q = 43.2$, $\xi' = 0.077$ mol.

Semaine 08 (18/11-22/11)

Notions abordées :

- Transformations chimiques d'un système.
- Acides et bases, réactions acide-base.
- Réaction d'oxydoréduction et piles.
- Dosages.

Questions de cours

1. Réaliser le schéma d'une pile.
2. Écrire une réaction d'oxydoréduction entre l'ion cuivre au degré d'oxydation 2 et l'argent solide.
3. Écrire l'équation d'une réaction acide-base et déterminer la valeur de sa constante thermodynamique d'équilibre en fonction des pK_a des couples mis en jeu.

Exercice 1 : Vitamine C

La vitamine C, aussi appelée acide ascorbique, est un diacide noté $AscH_2$.

1. Dresser le diagramme de prédominance des espèces acido-basiques issues de l'acide ascorbique en fonction du pH de la solution.
2. On dissout dans l'eau un comprimé contenant 500 mg d'acide ascorbique dans une fiole jaugée de volume $V = 200$ mL. Déterminer l'état d'équilibre de la solution obtenue.
3. La vitamine C existe aussi en comprimé tamponné, réalisée en mélangeant l'acide ascorbique $AscH_2$ et de l'ascorbate de sodium $AscHNa$. Un comprimé de vitamine C tamponnée de masse m en principe actif (acide ascorbique sous ses deux formes, diacide et monoacide) est dissous dans $V' = 100$ mL d'eau distillée. La solution obtenue a un pH égal à 4.4. Déterminer la masse d'acide ascorbique et la masse d'ascorbate de sodium contenues dans ce cachet. On prendra $m = 500$ mg pour les applications numériques.

Données :

- Les deux pK_a associés à l'espèce étudiée sont 4.2 et 11.6.
- $M(AscH_2) = 176 \text{ g mol}^{-1}$, $M(AscHNa) = 198 \text{ g mol}^{-1}$.

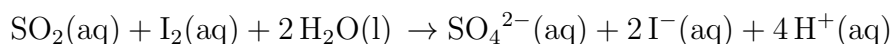
- S'il y a plusieurs réactions possibles, on se concentrera sur celle dont la constante thermodynamique est la plus élevée (réaction prépondérante).

Réponses :

1. -
2. $[AscH_2] = 1.4 \times 10^{-2} \text{ mol L}^{-1}$, $[AscH_-] = [H_3O^+] = 9.4 \times 10^{-4} \text{ mol L}^{-1}$
3. $m_a = 1.9 \times 10^2 \text{ mg}$, $m_b = 3.4 \times 10^2 \text{ mg}$.

Exercice 2 : Titrage du dioxyde de soufre dans le vin

La concentration en masse de dioxyde de soufre dans un vin blanc ne doit pas excéder 210 mg L^{-1} . Pour vérifier la conformité de la concentration en dioxyde de soufre d'un vin blanc, on utilise une solution titrante de concentration $C_1 = 7.80 \times 10^{-3} \text{ mol L}^{-1}$ en diiode. Dans un erlenmeyer, on verse un volume $V_2 = 25.0 \text{ mL}$ de vin blanc. On ajoute 2 mL d'acide sulfurique pour acidifier le milieu. Lors du titrage du vin blanc, l'équivalence est obtenue après avoir versé un volume $V_E = 6.1 \text{ mL}$ de solution titrante. La réaction support du titrage s'écrit



Ce vin est il conforme à la législation ?

Donnée : $M(\text{SO}_2) = 64.1 \text{ g/mol}$

Réponse : $120 \text{ mg/L} < 210 \text{ mg/L}$.

Exercice 3 : Pile à combustible

Dans certaines piles à combustible, on utilise le dihydrogène comme combustible et le dioxygène comme comburant.

1. Écrire la réaction de combustion du dihydrogène par le dioxygène.
2. Cette réaction est en fait l'association de deux demi-équations d'oxydoréduction mettant en jeu les couples $\text{H}^+/\text{H}_{2(\text{g})}$ et $\text{O}_{2(\text{g})}/\text{H}_2\text{O}$. Écrire les demi-équations d'oxydoréduction.
3. Les deux demi-réactions ont lieu sur deux électrodes. Indiquer la réaction cathodique et la réaction anodique.
4. Donner l'expression du potentiel d'oxydoréduction pour les deux couples.

5. Exprimer la constante d'équilibre K^o en fonction des potentiels standards des couples. Calculer sa valeur. Commenter.

Données : $E^o(H^+, H_2) = 0.00 \text{ V}$, $E^o(O_2, H_2O) = 1.23 \text{ V}$.

Semaine 09 (25/11-29/11)

Notions abordées :

- Transformations chimiques d'un système.
- Acides et bases, réactions acide-base.
- Réaction d'oxydoréduction et piles.
- Dosages.

Questions de cours

1. Réaliser le schéma d'une pile.
2. Écrire une réaction d'oxydoréduction entre l'ion cuivre au degré d'oxydation 2 et l'argent solide.
3. Écrire l'équation d'une réaction acide-base et déterminer la valeur de sa constante thermodynamique d'équilibre en fonction des pK_a des couples mis en jeu.

Exercices : Cf semaine précédente

Semaine 10 (02/12-06/12)

Notions abordées :

- Révisions d'optique géométrique (cf MPSI).
- Phénomènes ondulatoires (cf MPSI).

Semaine 11 (09/12-13/12)

Notions abordées :

- Interférences lumineuses.
- Sources élargies spatialement et spectralement.
- (Pas de Michelson).

Exercice 1 : Cohérence spatiale des fentes d'Young

Quelle est la largeur d'une source étendue qui provoque un brouillage de la figure d'interférence dans le cas des fentes d'Young ?

Exercice 2 : Interférences sur une goutte

On considère une goutte liquide d'indice $n = 1.4$ sur un solide réfléchissant, éclairée en incidence normale par une source monochromatique de longueur d'onde $\lambda = 546 \text{ nm}$. La goutte est assimilable à une portion de sphère de centre C . Son diamètre dans le plan de contact est $d = 0.5 \text{ mm}$ et l'angle de contact à son bord est $\theta = 5^\circ$.

1. Justifier que l'on peut négliger la réfraction à la surface de la goutte.
2. Justifier que des interférences lumineuses apparaissent. Où sont elles localisées ?
3. Calculer la différence de marche à la surface de la goutte, à une distance r de l'axe de révolution.
4. Déterminer les rayons des anneaux brillants successifs.
5. Déterminer l'ordre d'interférence au centre, et au bord. En déduire le nombre d'anneaux visibles.

Réponse : Au premier ordre en θ , $N = 1 + \lfloor \frac{n d \theta}{2 \lambda} \rfloor = 52$ anneaux. (à vérifier)

Exercice 3 : Mesure de l'indice d'un verre

On considère le dispositif des fentes d'Young avec lentille éclairé par une source ponctuelle monochromatique au foyer objet d'une lentille convergente. Devant l'une des deux fentes, on place une lame de verre d'épaisseur e connue et d'indice n inconnu.

1. Décrire la figure d'interférences. Peut-on déterminer l'indice du verre ?

2. Montrer qualitativement que l'on peut déterminer l'indice du verre en passant en lumière blanche.
3. Le montrer quantitativement en considérant une source lumineuse de distribution spectrale d'intensité $\frac{dI}{d\nu}$ homogène, de fréquence centrale ν_0 et de largeur $\Delta\nu$.

Semaine 12 (16/12-20/12)

Notions abordées :

- Interférences lumineuses (cf semaine précédente).
- Interféromètre de Michelson en lame d'air.

Exercice 1 : Interférences sur une goutte

On considère une goutte liquide d'indice $n = 1.4$ sur un solide réfléchissant, éclairée en incidence normale par une source monochromatique de longueur d'onde $\lambda = 546 \text{ nm}$. La goutte est assimilable à une portion de sphère de centre C . Son diamètre dans le plan de contact est $d = 0.5 \text{ mm}$ et l'angle de contact à son bord est $\theta = 5^\circ$.

1. Justifier que l'on peut considérer les rayons non déviés à la surface de la goutte.
2. Justifier que des interférences lumineuses apparaissent. Où sont elles localisées ?
3. Calculer la différence de marche à la surface de la goutte, à une distance r de l'axe de révolution.
4. Déterminer les rayons des anneaux brillants successifs.
5. Déterminer l'ordre d'interférence au centre, et au bord. En déduire le nombre d'anneaux visibles.

Réponse : Au premier ordre en θ , $N = 1 + \lfloor \frac{n d \theta}{2 \lambda} \rfloor = 52$ anneaux. (à vérifier)

Exercice 2 : Mesure de l'épaisseur d'une lame

On considère un Michelson en lame d'air éclairé en incidence normale et en lumière blanche, réglé à la teinte plate. En sortie de l'interféromètre, on place un spectromètre connecté à un ordinateur au foyer image d'une lentille convergente.

Dans l'un des bras de l'interféromètre, on place une lame de verre d'indice $n = 1.50$ et d'épaisseur e .

Sur l'ordinateur, on observe le spectre de la lumière reçue. On remarque que les longueurs d'onde 500.0, 502.5, 505.1, 507.6, 510.2 et 512.8 nm correspondent à des maxima d'intensité.

Expliquer le phénomène observé et en déduire l'épaisseur de la lame.

Réponse : $e = 0.1 \text{ mm}$.

Exercice 3 : Mesure de l'indice de l'air

Un Michelson est réglé en lame d'air d'épaisseur e et éclairé par une source de lumière quasi-monochromatique de longueur d'onde dans le vide $\lambda_0 = 632 \text{ nm}$. Deux cuves identiques, à faces parallèles et transparentes, de longueur $L = 3.00 \text{ cm}$ sont placées entre la séparatrice et chacun des miroirs. L'écran est placé au foyer image d'une lentille convergente.

Dans la situation initiale, les deux cuves sont pleines d'air à pression atmosphérique. On fait progressivement le vide dans l'une des deux cuves et on voit défiler 26 franges au centre de l'écran. En déduire l'indice de l'air.

Réponse : $n_{\text{air}} - n_{\text{vide}} = 2.7 \times 10^{-4}$

Semaine 13 (06/01-10/01)

Notions abordées :

- Interférences lumineuses.
- Interféromètre de Michelson.

Questions de cours :

1. Déterminer l'expression de la différence de marche pour l'interféromètre de Michelson en lame d'air et décrire la figure d'interférences.
2. Pour l'interféromètre de Michelson en coin d'air, préciser la localisation des interférences. Expliquer comment les observer. Déterminer l'expression de la différence de marche.
3. Peut on utiliser une source étendue avec le dispositif des trous d'Young ? Et pour le Michelson en configuration lame d'air ? coin d'air ? Conclusion sur l'intérêt de l'interféromètre de Michelson ?

Exercices

cf semaine précédente

Semaine 14 (13/01-17/01)

Notions abordées :

- Électrostatique (Gauss et Maxwell-Gauss).
- Interféromètre de Michelson.

Questions de cours :

1. Calculer le champ électrique créé par une plaque infinie de densité de charge σ uniforme.
2. Calculer le champ électrique créé par un cylindre infini de densité de charge σ uniforme.
3. Calculer le champ électrique créé par une boule de densité de charge ρ uniforme.

Questions sur le Michelson :

1. Déterminer l'expression de la différence de marche pour l'interféromètre de Michelson en lame d'air et décrire la figure d'interférences.
2. Pour l'interféromètre de Michelson en coin d'air, préciser la localisation des interférences. Expliquer comment les observer. Déterminer l'expression de la différence de marche.
3. Peut on utiliser une source étendue avec le dispositif des trous d'Young ? Et pour le Michelson en configuration lame d'air ? coin d'air ? Conclusion sur l'intérêt de l'interféromètre de Michelson ?

Exercices

cf semaine précédente

Semaine 15 (20/01-24/01)

Notions abordées :

— Électrostatique.

Questions de cours

1. Démontrer, à partir du théorème de Gauss, l'équation de Maxwell-Gauss.
2. Exprimer, à partir du théorème de Gauss, le champ électrique généré par une charge ponctuelle q .
3. Exprimer la capacité d'un condensateur plan.

Exercice 1 : Condensateur cylindrique

On considère deux électrodes cylindriques infinies, de même axe, de rayons R_1 et $R_2 = R_1 + e$. Le cylindre central porte la charge surfacique $+\sigma$.

1. Quelle est la charge surfacique portée par le cylindre extérieur ?
2. Sur un schéma, faire figurer les électrodes, leurs dimensions et le champ électrique.
3. Déterminer l'expression de la capacité d'un tronçon de longueur H du condensateur en fonction des paramètres géométriques et de ϵ_0 .
4. Commenter le cas $e \ll R_1$.

Exercice 2 : Plaque épaisse chargée

On considère une plaque épaisse de largeur et longueur L occupant l'espace entre $z = -a/2$ et $z = +a/2$. Elle porte une charge Q répartie uniformément.

On réalise l'étude au voisinage de $x = 0$ et $y = 0$, ce qui permet de négliger les effets de bords.

1. Déterminer le champ électrique qu'elle génère.
2. Dans la limite $a \rightarrow 0$:
 - (a) Déterminer la charge surfacique σ .
 - (b) Déterminer la relation de passage entre $\overrightarrow{E}(z = 0^+)$ et $\overrightarrow{E}(z = 0^-)$.

Exercice 3 : Condensateur à cylindres parallèles

On considère deux cylindres infinis identiques, de rayon a . Les axes des deux cylindres sont parallèles et distants de $2D$. Le cylindre 1 porte la charge surfacique $+\sigma$.

1. Quelle est la charge surfacique portée par le deuxième cylindre ?
2. Sur un schéma, faire figurer les cylindres, leurs dimensions, les charges et le champ électrique.
3. À l'aide du théorème de superposition, déterminer l'expression de la capacité d'un tronçon de longueur H du condensateur en fonction des paramètres géométriques et de ϵ_0 .

Semaine 16 (27/01-31/01)

Notions abordées :

- Électrostatique (cf. semaine précédente).
- Dipôle électrostatique.
- Magnétostatique.

Questions de cours

1. Montrer que le champ magnétique est à flux conservatif.
2. Démontrer l'équation de Maxwell-Ampère à partir du théorème d'Ampère.
3. Déterminer le champ magnétique généré par un fil rectiligne infini et infiniment fin.

Exercice 1 : Bobine torique

On considère une bobine torique de rayon moyen R , comportant N spires, de section carrée de côté a et parcourue par un courant I . Déterminer le champ magnétique produit en tout point de l'espace. Comparer avec le champ magnétique du solénoïde infini.

Exercice 2 : Caractéristiques d'un câble coaxial

Un câble coaxial est constitué de deux cylindres conducteurs de rayons R_1 et $R_2 > R_1$ sur lesquels circulent, en surface, des courants d'intensité I et de sens opposés.

1. Déterminer le champ magnétique.
2. La densité volumique d'énergie magnétique est donnée par $U_m = \frac{\vec{B}^2}{2\mu_0}$. En déduire l'inductance linéique du câble coaxial.
3. Les deux cylindres portent également des charges opposées. Reprendre les calculs pour le champ électrique. En déduire la capacité par unité de longueur.
4. Quelle relation simple trouve-t-on entre l'inductance et la capacité ?

Exercice 3 : Équilibre d'une tige dans un champ non uniforme

Une tige $[OA]$ de masse m et de longueur L est en rotation autour de l'axe (Ox) horizontal. Son moment d'inertie est $J = \frac{1}{3}mL^2$. Elle est parcourue par un courant d'intensité i dirigée de O vers A . Son inclinaison par rapport à la verticale est mesurée par l'angle θ . Un fil rectiligne d'axe vertical (Oz) est parcouru par un courant de même intensité i dirigée vers le haut. À l'équilibre de la tige, donner l'expression de i en fonction de θ , L , m et g .

Exercice 4 : Action mécanique d'un fil sur un autre fil parallèle

Deux fils rectilignes infinis parallèles sont distants de $d = 1.0$ m. Ils sont parcourus par des courants de même intensité I et de même sens. La force subie par un tronçon de longueur $L = 1.0$ m d'un des fils est égale 2.0×10^{-7} N.

Déterminer la valeur de I .

MPI SEMAINE 16 (27/01-31/01)

MP

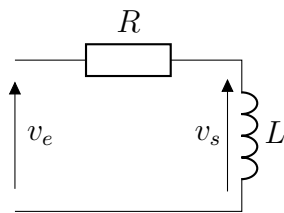
Semaine 01 (16/09-20/09)

Notions abordées :

- Révisions de MPSI en électronique.
- Filtrage d'un signal périodique.
- Traitement numérique du signal.

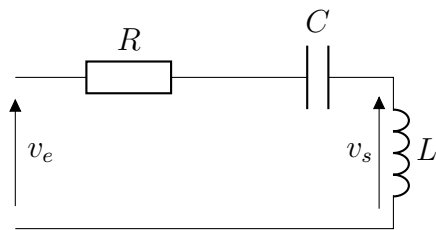
Exercice 1

On donne $R = 1.0 \text{ k}\Omega$ et $L = 10 \text{ mH}$.



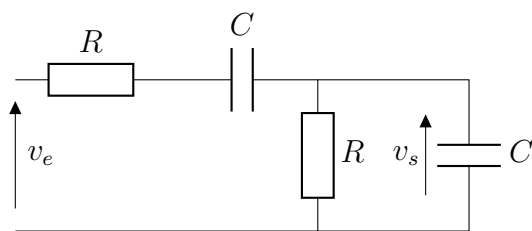
1. Quel type de filtre ce circuit permet-il de réaliser ?
2. Déterminer sa fonction de transfert.
3. Déterminer les pentes des asymptotes en gain BF et HF.
4. v_e s'écrit comme somme de trois harmoniques de même amplitude, de même phase à l'origine et de fréquences respectives $f_1 = 100 \text{ Hz}$, $f_2 = 1 \text{ kHz}$ et $f_3 = 100 \text{ kHz}$. Écrire v_e puis v_s .
5. v_e est maintenant un triangle de fréquence 60 Hz . Quelle est la forme de v_s ?

Exercice 2



1. Quel type de filtre ce circuit permet-il de réaliser ?
2. Déterminer sa fonction de transfert.
3. Déterminer les pentes des asymptotes en gain BF et HF. Tracer le diagramme de Bode asymptotique.
4. v_e s'écrit comme somme de trois harmoniques de même amplitude, de même phase à l'origine et de fréquences respectives $f_1 = 100$ Hz, $f_2 = 1$ kHz et $f_3 = 100$ kHz. Écrire v_e puis v_s .
5. Ce filtre peut-il avoir un comportement dérivateur ? Intégrateur ?

Exercice 3



On donne $R = 1.0 \text{ k}\Omega$ et $C = 500 \text{ nF}$.

1. Quel type de filtre ce circuit permet-il de réaliser ?
2. Déterminer sa fonction de transfert.
3. Déterminer la bande passante. Définir le facteur de qualité.
4. v_e s'écrit comme somme de trois harmoniques de même amplitude, de même phase à l'origine et de fréquences respectives $f_1 = 100$ Hz, $f_2 = 1$ kHz et $f_3 = 100$ kHz. Écrire v_e puis v_s .

Semaine 02 (23/09-27/09)

Notions abordées :

- Mécanique du point.
- Traitement numérique du signal.

Exercice 1

1. Définir un satellite géostationnaire et calculer son altitude.
2. Quel travail faut-il fournir pour augmenter son altitude de 50 km.

Exercice 2

On considère un point matériel astreint à se déplacer autour d'un anneau en rotation autour d'un diamètre, à ω constante.

Positions d'équilibre ? Stabilité ?

Exercice 3

On cherche à graver sur un *CD* une musique. Toutefois, il existe un signal parasite à $f_p = 42.1$ kHz.

1. Échantillonnage sur 16 bits. Quelle est la taille du fichier si la durée vaut 74 minutes.
2. Le critère de Shannon est-il vérifié ? Conséquence ?
3. Comment résoudre ce problème ?

Exercice 4

Décrire le mouvement d'une particule chargée dans un champ magnétique statique uniforme.

Semaine 03 (30/09-04/10)

Notions abordées :

- Traitement numérique du signal.
- Mécanique de MPSI.
- Dynamique en référentiel non galiléen.

Exercice 1

Une tige rigide est en rotation uniforme autour de son axe à la pulsation ω . Un mobile M est lié par un fil au point O situé sur l'axe à l'altitude h .

1. Démontrer la loi de composition des accélérations pour un référentiel en rotation uniforme.
2. Déterminer l'angle α_0 d'équilibre du mobile.
3. Étudier la stabilité de la position d'équilibre.

Exercice 2

Un électron et un proton de même énergie cinétique sont plongés dans un champ magnétique uniforme, orthogonal à leur vitesse initiale.

1. Décrire qualitativement les trajectoires.
2. Comparer :
 - Leur vitesse.
 - Le rayon de leur trajectoire.
 - Leur période.
3. Calculer la force centrifuge subie par l'électron.

Exercice 3

Un mobile M coulisse sans frottement sur un axe horizontal (Ox) dans un train qui accélère avec une accélération $A\vec{u}_x$, le point O étant fixé à l'arrière du wagon. Entre O et M on place un ressort (k, l_0) . À $t = 0$, $x = l_0$ et la vitesse de M dans le référentiel du train est nulle.

1. Démontrer la loi de composition des accélérations dans un référentiel uniformément accéléré.
2. Établir $x(t)$.

Semaine 04 (07/10-11/10)

Notions abordées :

- Mécanique de MPSI (forces centrales et dynamique du solide).
- Dynamique en référentiel non galiléen.

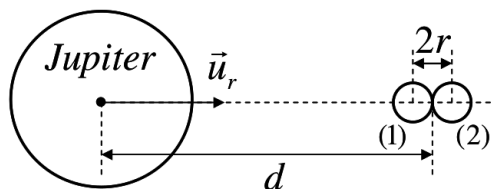
Exercice 1 : Pendule pesant dans une voiture accélérée

Une tige homogène de longueur l et de masse totale m est accrochée en un point A du plafond d'une voiture. La voiture est en translation rectiligne d'accélération a par rapport au référentiel terrestre supposé galiléen.

Le moment d'inertie de la tige par rapport au point A est $J = \frac{1}{3}ml^2$. On admet que le point d'application de la force d'inertie d'entraînement est le centre d'inertie de la tige.

1. Déterminer l'angle d'équilibre du pendule dans le référentiel de la voiture.
2. Déterminer la période T des petites oscillations du pendule autour de la position d'équilibre.

Exercice 2 : Limite de Roche



On cherche à déterminer la distance en dessous de laquelle une comète s'approchant de Jupiter se sépare en plusieurs morceaux sous l'effet des forces de marée dues à Jupiter.

On modélise la comète par deux sphères identiques de masses m et de rayon r , alignées comme sur le dessin. On suppose que la comète est en orbite circulaire de rayon d autour de Jupiter.

1. Montrer que le mouvement du centre d'inertie de la comète est uniforme. Quelle est la nature du mouvement du référentiel de la comète par rapport au référentiel de Jupiter ?
2. Soit \vec{R} la réaction de la sphère (1) sur la sphère (2). Dans le référentiel de la comète, appliquer le PFD à une des deux sphères.
3. À quelle condition le contact entre les sphères est-il rompu ? Déterminer, sachant que $r \ll d$, la distance limite d_{lim} en dessous de laquelle il ne peut exister de comètes.

Données : $M_J = 1.9 \times 10^{27} \text{ kg}$, $R_J = 7.1 \times 10^4 \text{ km}$ et masse volumique de la comète $\rho_c = 1.0 \times 10^3 \text{ kg m}^{-3}$.

Réponse : $d_{lim} = 1.8 \times 10^5 \text{ km}$.

Exercice 3 : Usure d'une ligne de TGV

Un train grande vitesse se dirige vers le sud, depuis Paris (latitude 48.8°). On considère son mouvement dans le référentiel terrestre non galiléen. Montrer qu'apparaît une réaction horizontale de la voie sur le train. La comparer à la réaction verticale.

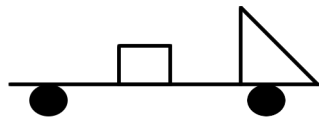
Semaine 05 (14/10-18/10)

Notions abordées :

- Mécanique de MPSI (forces centrales et dynamique du solide).
- Dynamique en référentiel non galiléen.
- Lois du frottement solide.

Exercice 1 : Glissement d'une caisse dans un camion

Le camion accélère avec l'accélération constante a .



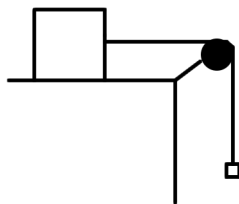
1. À quelle condition le glissement commence-t-il ?
2. Au bout de combien de temps la caisse atteint-elle le rebord ?
3. Quelle distance parcourt-elle après être tombée ?
4. La caisse glisse-t-elle ou bascule-t-elle lors de l'accélération ?

Exercice 2 : Cube sur un plan incliné

Un cube repose sur un plan incliné d'un angle α . On augmente α très lentement.

1. À quelle condition le glissement commence-t-il ?
2. À quelle condition le cube bascule-t-il ?
3. Qu'est ce qui arrive en premier ? On donne le coefficient de frottement bois-bois $f = 0.4$.

Exercice 3 : Glissement et liaison avec une corde



Deux caisses sont liées par une corde qui passe par une poulie. On prend en compte le frottement de la grosse caisse sur la surface. En précisant les hypothèses utilisées, déterminer l'altitude de la caisse suspendue en fonction du temps.

Semaine 06 (04/11-08/11)

Notions abordées :

- Particules dans un \vec{E}, \vec{B} statique (MPSI).
- Électrostatique :
 - Distributions de charges et de courants.
 - Symétries et invariances.
 - Loi de Coulomb.
 - Théorème de Gauss.
 - Analogie gravitationnelle.

Exercice 1 : Condensateur cylindrique

Deux cylindres métalliques \mathcal{C}_1 et \mathcal{C}_2 de même axe (Oz), de même hauteur h et de rayon R_1 et $R_2 > R_1$ portent des charges réparties uniformément en surface. On note σ_1 la densité surfacique de charge de \mathcal{C}_1 .

1. Quelle est la charge portée par \mathcal{C}_2 ? En déduire sa densité surfacique de charges.
2. Déterminer la capacité C de ce condensateur cylindrique.
3. Dans quel cas retrouve-t-on la capacité d'un condensateur plan ?

Réponse : $C = \frac{2\pi\epsilon_0 h}{\ln R_2/R_1}$

Exercice 2 : Condensateur sphérique

Deux sphères métalliques \mathcal{S}_1 et \mathcal{S}_2 de même centre O et de rayons R_1 et $R_2 > R_1$ portent des charges réparties uniformément en surface. On note σ_1 la densité surfacique de charge de \mathcal{S}_1 .

1. Quelle est la charge portée par \mathcal{S}_2 ? En déduire sa densité surfacique de charges.
2. Déterminer la capacité C de ce condensateur sphérique.
3. Dans quel cas retrouve-t-on la capacité d'un condensateur plan ?

Réponse : $C = \frac{4\pi\epsilon_0}{\frac{1}{R_1} - \frac{1}{R_2}}$.

Exercice 3 : Rayon classique de l'électron

L'électron de charge $-e$ est modélisé par une sphère \mathcal{S} de centre O et de rayon R uniformément chargée dans son volume.

1. Déterminer le champ électrique généré par l'électron.
2. Évaluer l'énergie électrique U_e d'un électron isolé liée à la seule présence du champ électrostatique qu'il crée.
3. En assimilant cette énergie à l'énergie de repos $E = mc^2$ prévue par la relativité, déterminer le rayon R_e de l'électron. Commentaire.

Réponse : $R_e = \frac{3e^2}{20\pi\epsilon_0 m_e c^2} = 1.7 \times 10^{-15} \text{ m}$

Semaine 07 (11/11-15/11)

Notions abordées :

- Particules chargées dans un champ statique (MPSI).
- Chimie : Architecture de la matière (Atomistique, cristallographie).
- Chimie : Cinétique chimique (MPSI).
- Magnétostatique (Cours seulement).

Questions de cours :

1. Champ créé par un fil infini parcouru par un courant I .
2. Champ magnétique créé par un conducteur cylindrique infini parcouru par un courant uniforme.
3. Champ créé par un solénoïde infini.

Exercice 1 : Décomposition de l'azométhane en phase gazeuse

Dans un récipient de volume fixé V , on introduit à 600 K de l'azométhane $\text{CH}_3\text{N}_2\text{CH}_3(\text{g})$. Celui-ci se décompose en éthane et en diazote gazeux.

L'évolution de la réaction est suivie par manométrie et une série de mesures a donné la pression partielle p_A en azométhane :

| | | | | | |
|---------------------------------------|--------------|------|------|------|------|
| $t \text{ (} 10^3 \text{ s)}$ | 0 | 1.00 | 2.00 | 3.00 | 4.00 |
| $p_A \text{ (} 10^{-2} \text{ mmHg)}$ | $p_0 = 8.21$ | 5.74 | 4.00 | 2.80 | 1.96 |

1. Écrire l'équation bilan de la réaction.
2. Vérifier que la réaction est d'ordre 1 par rapport au réactif et calculer sa constante de vitesse.

Réponse : $k = 3.58 \times 10^{-4} \text{ s}^{-1}$

Exercice 2 : Temps de demi-réaction

La réaction de décomposition totale du pentaoxyde de diazote N_2O_5 en dioxyde d'azote NO_2 et dioxygène a lieu en phase gazeuse. L'expérience est menée dans un récipient de volume V constant, initialement vide, en amenant du pentaoxyde de diazote de manière à ce que la pression initiale soit p_0 .

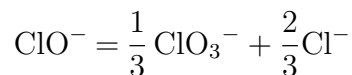
1. On mesure la pression $p(t)$ au cours du temps. On veut évaluer la constante cinétique en mesurant le temps de demi-réaction. Quelle doit être la lecture de p sur le manomètre pour ce temps ?
2. Le tracé de la courbe $\ln p(\text{N}_2\text{O}_5)$ en fonction du temps est une droite. En déduire l'ordre de la réaction. Tracer l'allure de la pression en fonction du temps.
3. Une première mesure réalisée à $\theta = 150^\circ\text{C}$ permet de mesurer un temps de demi réaction $t_{1/2} = 7.5\text{ s}$. Une seconde mesure réalisée à $\theta' = 100^\circ\text{C}$ permet de mesurer un temps de demi-réaction $t'_{1/2} = 7.0\text{ min}$. Calculer la constante de vitesse pour ces deux températures.
4. Calculer l'énergie d'activation de la réaction.

Réponses :

1. $p_{1/2} = \frac{7}{4}p_0$.
2. -
3. $k = 9.2 \times 10^{-2}\text{ s}^{-1}$ et $k' = 1.7 \times 10^{-3}\text{ s}^{-1}$.
4. $E_a = 1.1 \times 10^2\text{ kJ mol}^{-1}$.

Exercice 3 : Dismutation des ions hypochlorites

En solution aqueuse, les ions hypochlorite ClO^- peuvent se dismuter selon la réaction totale



La vitesse de la réaction r , définie comme la vitesse de disparition des ions hypochlorite ClO^- suit une loi cinétique de second ordre, dont la constante de vitesse est notée k .

On provoque cette réaction dans une solution contenant initialement des ions hypochlorite à la concentration $c_0 = 0.10\text{ mol L}^{-1}$.

À $T = 343\text{ K}$, la constante de vitesse de la solution est $k = 3.1 \times 10^{-3}\text{ mol}^{-1}\text{ dm}^3\text{ s}^{-1}$.

L'énergie d'activation de cette réaction au voisinage des températures considérées ici est $E_a = 47\text{ kJ mol}^{-1}$.

1. Donner l'équation horaire de la concentration en ions hypochlorite.
2. Au bout de combien de temps, noté t_{30} , aura-t-on obtenu la disparition de 30% des ions hypochlorite ?

3. Quel serait à $T' = 363\text{ K}$ le temps t'_{30} nécessaire pour obtenir le même taux d'avancement de 30% à partir de la même solution initiale ?

Réponses :

1. -
2. $t_{30} = 23\text{ min.}$
3. $t'_{30} = 9\text{ min } 20\text{ s.}$

Semaine 08 (18/11-22/11)

Notions abordées :

- Magnétostatique.
- Dipôle magnétostatique (cours seulement).

Exercice 1 : Bobine torique

On considère une bobine torique de rayon moyen R , comportant N spires, de section carrée de côté a et parcourue par un courant I . Déterminer le champ magnétique produit en tout point de l'espace. Comparer avec le champ magnétique du solénoïde infini.

Exercice 2 : Caractéristiques d'un câble coaxial

Un câble coaxial est constitué de deux cylindres conducteurs de rayons R_1 et $R_2 > R_1$ sur lesquels circulent, en surface, des courants d'intensité I et de sens opposés.

1. Déterminer le champ magnétique.
2. La densité volumique d'énergie magnétique est donnée par $U_m = \frac{\vec{B}^2}{2\mu_0}$. En déduire l'inductance linéique du câble coaxial.
3. Les deux cylindres portent également des charges opposées. Reprendre les calculs pour le champ électrique. En déduire la capacité par unité de longueur.
4. Quelle relation simple trouve-t-on entre l'inductance et la capacité ?

Exercice 3 : Équilibre d'une tige dans un champ non uniforme

Une tige $[OA]$ de masse m et de longueur L est en rotation autour de l'axe (Ox) horizontal. Son moment d'inertie est $J = \frac{1}{3}mL^2$. Elle est parcourue par un courant d'intensité i dirigée de O vers A . Son inclinaison par rapport à la verticale est mesurée par l'angle θ . Un fil rectiligne d'axe vertical (Oz) est parcouru par un courant de même intensité i dirigée vers le haut. À l'équilibre de la tige, donner l'expression de i en fonction de θ , L , m et g .

Exercice 4 : Action mécanique d'un fil sur un autre fil parallèle

Deux fils rectilignes infinis parallèles sont distants de $d = 1.0 \text{ m}$. Ils sont parcourus par des courants de même intensité I et de même sens. La force subie par un tronçon de longueur $L = 1.0 \text{ m}$ d'un des fils est égale $2.0 \times 10^{-7} \text{ N}$.

Déterminer la valeur de I .

Semaine 09 (25/11-29/11)

Notions abordées :

- Induction (révisions de MPSI) (priorité).
- Magnétostatique.
- Dipôles électro- et magnétostatiques.

Exercice 1 : Double rails de Laplace

Deux barres parallèles conductrices, de résistance R , sont posées à l'horizontale sur deux rails parallèles et conducteurs, séparés d'une distance l . L'une des barres est animée d'une vitesse \vec{V} . L'ensemble baigne dans un champ magnétique vertical homogène et stationnaire \vec{B} .

1. On suppose la vitesse \vec{V} constante. Déterminer le mouvement de l'autre barre, d'abord qualitativement, puis quantitativement.
2. Étudier le cas du régime sinusoïdal forcé.

Exercice 2 : Inductances propres et mutuelles

1. Rappeler la définitions des inductances propres et mutuelles. À quoi ces grandeurs nous servent-elles ?
2. Calculer l'inductance propre d'un solénoïde de longueur l , de section S , comportant N spires, et supposé suffisamment long pour négliger les effets de bords. Application numérique pour une bobine de TP.
3. Exprimer l'énergie magnétique stockée dans la bobine. Retrouver l'expression de la densité volumique d'énergie magnétique.
4. On considère un petit solénoïde à l'intérieur d'un gros solénoïde, les deux partageant le même axe. Déterminer l'inductance mutuelle.

Réponses :

1. -
2. $L = \mu_0 \frac{N^2 S}{l}$
3. -
4. $M = \mu_0 \frac{N_1 N_2}{l_1} S_1$

Exercice 3 : Induction par un aimant mobile

Une spire circulaire d'axe (Oz) , de rayon a et de résistance R est immobile. Sur son axe, on rapproche à vitesse $\vec{V} = V\vec{e}_z$ constante un petit aimant assimilé à un dipôle magnétique de moment $\vec{\mathcal{M}} = \mathcal{M}\vec{e}_z$.

1. Prévoir le sens du courant i induit dans la spire.
2. Calculer le courant i dans la spire.
3. Quelle est la force exercée par l'aimant sur la spire ? Commenter.

Exercice 4 : Mesure d'une inductance mutuelle par battements

On considère deux circuits LC identiques et couplés par une inductance mutuelle M . On suppose qu'initialement le condensateur 1 porte la charge Q , que le condensateur 2 est déchargé et qu'aucun courant ne circule.

1. Déterminer les équations sur les charges portées par les condensateurs.
2. Découpler le système d'équations et résoudre chacune des deux équations différentielles.
3. Déterminer le courant dans le circuit 1 en fonction du temps. En déduire une méthode pour mesurer M .

Semaine 10 (02/12-06/12)

Notions abordées :

- Équations de Maxwell.
- Application du premier principe à la transformation chimique.

Questions de cours

1. Énoncer les équations locales de Maxwell. Démontrer l'équivalent global pour l'équation de Maxwell-Gauss et l'équation de Maxwell-Ampère.
2. Déterminer l'équation de propagation du champ électromagnétique dans un milieu vide de charges et de courants.
3. Démontrer, par un bilan de charge électrique, l'équation locale de conservation de la charge.

Exercice 1 : Combustion de l'éthyne

On considère la réaction de combustion de l'éthyne ($\text{C}_2\text{H}_{2(\text{g})}$). On donne $\Delta_R H^\circ(298\text{ K}) = -402\text{ kJ mol}^{-1}$ ainsi que les capacités thermiques à pression constante :

| | $\text{CO}_{2(\text{g})}$ | $\text{H}_2\text{O}_{(\text{g})}$ | $\text{H}_2\text{O}_{(\text{l})}$ |
|--|---------------------------|-----------------------------------|-----------------------------------|
| $C_p\text{ (J K}^{-1}\text{ mol}^{-1}\text{)}$ | 37.1 | 33.6 | 75.5 |

On donne également l'enthalpie de vaporisation de l'eau $\Delta_{\text{vap}} H^\circ = 40.7\text{ kJ mol}^{-1}$.

Les réactifs sont introduits dans les proportions stoechiométriques à $T_i = 298\text{ K}$ et $P = P^\circ$ maintenue constante. Déterminer la température finale T_f .

Réponse : $T_f = 3620\text{ K}$

Exercice 2 : Mesure de l'enthalpie d'autoprotolyse de l'eau

Une solution contenant $n_0 = 4.55 \times 10^{-4}\text{ mol}$ d'ions hydronium est ajoutée à une solution de soude concentrée placée dans un calorimètre. La réaction inverse de l'autoprotolyse de l'eau se produit et consomme tous les ions hydronium introduits. Une élévation de température de $\Delta T_a = 0.1028^\circ\text{C}$ est mesurée. Ensuite, un courant $I = 0.1\text{ A}$ passant pendant $\delta t = 10.75\text{ s}$ à travers

une résistance $R = 252.7 \, \Omega$ complètement immergée cause une augmentation de température $\Delta T_b = 0.1087 \, ^\circ\text{C}$.

Déterminer l'enthalpie standard de la réaction d'autoprotolyse de l'eau.

Réponse : $51.9 \, \text{kJ mol}^{-1}$

Exercice 3 : Combustion du monoxyde de carbone

Calculer la température maximale de la combustion totale isobare du monoxyde de carbone

1. Avec de l'oxygène en proportions stoechiométriques.
2. Avec de l'air (1 volume de dioxygène pour 3.8 volumes de diazote, l'oxygène étant toujours en proportions stoechiométriques).

Données :

| | CO_2 | CO | O_2 | N_2 |
|---|---------------|-------------|--------------|--------------|
| $\Delta_f H^\circ(298 \, \text{K}) \, (\text{kJ mol}^{-1})$ | -395.5 | -110.4 | | |
| $c_p^\circ \, (\text{J K}^{-1} \text{mol}^{-1})$ | 30.5 | 26.9 | 27.2 | 27.2 |

Semaine 11 (09/12-13/12)

Notions abordées :

- Application du premier principe à la transformation chimique. (cf. semaine précédente)
- Application du second principe à la transformation chimique.

Questions de cours

1. Montrer, en précisant les conditions expérimentales, que l'enthalpie libre est un potentiel thermodynamique. En déduire le critère d'évolution des transformations chimiques.
2. Quel est le lien entre la constante de réaction et l'enthalpie standard de réaction ? Démontrer, dans le cadre de l'approximation d'Ellingham, la loi de Van't Hoff sur l'évolution de K° en fonction de la température.
3. Définir le potentiel chimique d'un constituant dans un mélange. Quel est l'intérêt de cette quantité pour déterminer l'équilibre chimique ? Donner son expression dans des cas usuels.

Exercice 1 : Interprétation des enthalpies et entropies de réaction

Dans une réaction de grillage, le sulfure du plomb réagit avec le dioxygène pour former de l'oxyde de plomb et du dioxyde de soufre.

1. Calculer l'enthalpie standard de réaction à 298 K. Commentaire ?
2. Calculer l'enthalpie standard de réaction à 1223 K. Commentaire ?
3. Calculer l'entropie standard de réaction à 298 K. Commentaire ?
4. Calculer la constante de réaction à 298 K. Commentaire ?

Données :

| | PbS _(s) | PbO _(s) | O _{2(g)} | SO _{2(g)} |
|---|--------------------|--------------------|-------------------|--------------------|
| $\Delta_f H^\circ(298\text{ K}) \text{ (kJ mol}^{-1}\text{)}$ | -100.4 | -217.4 | | -296.8 |
| $c_p^\circ \text{ (J K}^{-1}\text{ mol}^{-1}\text{)}$ | 49.5 | 45.8 | 29.4 | 39.9 |
| $S_{mol}^\circ \text{ (J K}^{-1}\text{ mol}^{-1}\text{)}$ | 91.2 | 68.7 | 205.1 | 248.2 |

Réponses :

1. $-413.8 \text{ kJ mol}^{-1}$
2. $-406.5 \text{ kJ mol}^{-1}$
3. $-82.0 \text{ J K}^{-1} \text{ mol}^{-1}$
4. 1.5×10^{68}

Exercice 2 : Étude du produit ionique

On relève le pH de l'eau à différentes températures.

| | | | | | |
|--------------------------------|------|------|------|------|------|
| $T \text{ (}^{\circ}\text{C)}$ | 0 | 18 | 25 | 50 | 100 |
| pH | 7.47 | 7.12 | 7.00 | 6.63 | 6.12 |

1. Quel est l'équilibre à considérer, et qui est responsable de la variation du pH en fonction de la température ?
2. Déterminer son enthalpie et son entropie de réaction. Commenter.
3. En déduire l'expression du produit ionique de l'eau en fonction de la température.

Réponses : Enthalpie : 51.9 kJ mol^{-1} , entropie : $94.5 \text{ J K}^{-1} \text{ mol}^{-1}$

Exercice 3 : Existence du diamant

1. Rappeler l'expression du potentiel chimique pour une phase condensée.
2. Montrer qu'à 298 K, il ne peut exister de carbone diamant en équilibre avec le carbone graphite. Comment expliquer alors l'existence du diamant dans la vie "quotidienne" ?
3. Rappeler la différentielle de l'enthalpie libre d'un corps pur ainsi que l'expression de l'enthalpie libre d'un corps pur en fonction de la quantité de matière et du potentiel chimique.
4. En déduire la différentielle du potentiel chimique d'un corps pur, puis une expression du potentiel chimique d'un corps pur à pression P en fonction du potentiel chimique à P° et du volume molaire.
5. Pour une phase condensée idéale, que peut on dire du volume molaire ? En déduire une expression simplifiée du potentiel chimique.
6. En déduire l'expression de l'enthalpie libre de réaction en fonction de l'enthalpie libre standard, des volumes molaire et de la pression.

7. Déterminer la pression minimale pour obtenir du diamant.

Réponses :

- 1.
2. $\Delta_R G^0 = 2.8 \text{ kJ mol}^{-1}$.
- 3.
- 4.
- 5.
- 6.
7. 1.5 GPa

Semaine 14 (13/01-17/01)

Notions abordées :

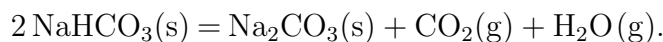
- Thermochimie.
- Ondes électromagnétiques dans le vide.

Questions de cours

1. Établir l'équation de propagation des ondes électromagnétiques dans le vide.
2. Établir l'équation de dispersion pour une OPPH électromagnétique dans le vide.
3. Démontrer la relation de structure pour des OPPH électromagnétiques.

Exercice 1 : Déplacement d'équilibre par ajout d'un composé inerte

On considère la réaction de dismutation



La réaction a lieu dans une enceinte de volume $V = 50 \text{ L}$ qui contient initialement $n = 2.0 \text{ mol}$ de $\text{NaHCO}_3(\text{s})$ (la pression initiale est donc nulle).

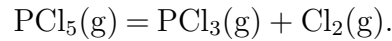
1. À 47°C , la pression d'équilibre vaut 0.033 bar . Calculer $K^\circ(47^\circ\text{C})$.
2. À 77°C , la pression d'équilibre vaut 0.265 bar . Calculer $\Delta_r H^\circ$ et $\Delta_r S^\circ$.
3. Donner l'état final à 107°C .
4. L'équilibre étant atteint, on ajoute du diazote dans l'enceinte. Que se passe-t-il si l'ajout se fait à volume constant ? À pression constante ?

Réponses :

1. $K^\circ = 2.722 \times 10^{-4}$
2. $\Delta_r H^\circ = 129.3 \text{ kJ mol}^{-1}$ et $\Delta_r S^\circ = 335.9 \text{ J K}^{-1} \text{ mol}^{-1}$
3. $\xi_f = 1.22 \text{ mol}$
4. -

Exercice 2 : Déchloration du pentachlorure de phosphore

On étudie la réaction



1. Calculer $K^\circ(500 \text{ K})$.
2. Sous $P = 3.0 \text{ bar}$, on mélange 0.15 mol de $\text{PCl}_5(\text{g})$, 0.40 mol de $\text{PCl}_3(\text{g})$ et 0.10 mol de $\text{Cl}_2(\text{g})$.
 - (a) Dans quel sens évolue le système ?
 - (b) Déterminer la composition à l'équilibre.
3. À partir d'un équilibre, comment évolue le système si :
 - (a) on augmente T à P constante ?
 - (b) on augmente P à T constante ?
 - (c) on augmente T à V constant ?
 - (d) on introduit du dichlore à T et P constantes ?

Données :

| | $\text{PCl}_5(\text{g})$ | $\text{PCl}_3(\text{g})$ | $\text{Cl}_2(\text{g})$ |
|--|--------------------------|--------------------------|-------------------------|
| $\Delta_f H^\circ(298 \text{ K}) \text{ (kJ mol}^{-1}\text{)}$ | -374.9 | -287.0 | |
| $S_{mol}^\circ \text{ (J K}^{-1} \text{ mol}^{-1}\text{)}$ | 364.5 | 311 | 223 |

Réponses :

1. $K^\circ(500 \text{ K}) = 0.4687$.
2. -
 - (a) $Q_r = 1.231$
 - (b) $\xi_f = -0.0473 \text{ mol}$
3. -
 - (a) Endothermique.
 - (b) Rétrograde.
 - (c) Direct.
 - (d) Rétrograde.

Exercice 3 : Combustion du méthane

On considère la combustion d'un volume $V_0 = 1.00 \text{ m}^3$ de méthane à la pression P° et à la température $T_0 = 298 \text{ K}$.

1. Écrire la réaction de combustion du méthane dans le dioxygène.
2. Montrer que l'on peut considérer la réaction comme totale.
3. Calculer la quantité de matière n_0 de méthane contenue dans l'enceinte.
4. Calculer l'énergie libérée par la combustion isotherme isobare de cette quantité de méthane.
5. On ne suppose plus la réaction totale. Comment évolue l'équilibre si on augmente, toutes choses égales par ailleurs, la pression.
6. Comment évolue l'équilibre si on augmente la pression, dans le cas de la combustion de l'éthane ?

Données :

| | $\text{CH}_{4(g)}$ | $\text{O}_{2(g)}$ | $\text{CO}_{2(g)}$ | $\text{H}_2\text{O}_{(l)}$ |
|--|--------------------|-------------------|--------------------|----------------------------|
| $\Delta_f H^\circ(298 \text{ K}) \text{ (kJ mol}^{-1}\text{)}$ | -74.4 | | -393.5 | -285.8 |
| $S_{mol}^\circ \text{ (J K}^{-1}\text{ mol}^{-1}\text{)}$ | 186.2 | 205.0 | 213.6 | 69.9 |

Réponses :

1. -
2. $K^\circ =$
3. $n_0 = 40.4 \text{ mol}$
4. $Q = 3.6 \times 10^4 \text{ kJ}$
5. Aucun effet.
6. Rétrograde.

Semaine 15 (20/01-24/01)

Notions abordées :

- Ondes électromagnétiques dans le vide.
- Ondes électromagnétiques dans les milieux.
- Effet de peau.

Exercice 1 : Chauffage d'un métal par le soleil

Un métal, modélisé par un conducteur ohmique non chargé, de conductivité $\gamma = 38 \text{ MS/m}$ occupe le demi-espace $z \geq 0$.

1. Écrire les équations de Maxwell dans le métal.
2. On s'intéresse à des ondes électromagnétiques de fréquences inférieures ou égales à celles du visible. Par une analyse d'ordres de grandeur, montrer que l'on peut négliger le courant de déplacement dans l'équation de Maxwell-Ampère.
3. En déduire l'équation de propagation des ondes électromagnétiques dans un conducteur.
4. Établir l'équation de dispersion. En déduire l'épaisseur de peau δ en fonction de ω .
5. Écrire, en notation complexe, le champ électrique dans le conducteur pour une onde polarisée selon \vec{e}_x , se propageant selon e_z d'amplitude E_0 et de pulsation ω .
6. Exprimer le champ magnétique associé à cette onde.
7. Déterminer la puissance volumique dissipée par effet Joule dans le conducteur. Calculer sa valeur moyenne.
8. En déduire la puissance totale dissipée dans une portion $\mathcal{V} = [0, a] \times [0, a] \times [0, +\infty[$ de conducteur.
9. Pourquoi dit-on que ce sont les infrarouges qui font chauffer une carrosserie de voiture exposée au soleil ?

Exercice 2 : Ondes électromagnétiques dans un diélectrique

Dans un milieu diélectrique, les équations de Maxwell sont identiques à celles dans le vide, à condition de remplacer ϵ_0 par $\epsilon_0 \epsilon_r$ avec $\epsilon_r > 1$ la permittivité diélectrique relative du milieu.

1. Écrire les équations de Maxwell dans un diélectrique non chargé.
2. Déterminer l'équation de propagation d'une onde électromagnétique dans un milieu diélectrique.
3. Déterminer l'équation de dispersion.
4. Exprimer les vitesses de phase et de groupe.
5. En déduire l'expression de l'indice de réfraction en fonction de ϵ_r .

En fait, un modèle microscopique (électron élastiquement lié) donne une permittivité relative complexe

$$\epsilon_r = 1 + \frac{\omega_p^2}{\omega_0^2 - \omega^2 + i\Gamma\omega}$$

6. Exprimer l'indice complexe \underline{n} dans le cas $\epsilon_r - 1 \ll 1$. On définira sa partie réelle n' (indice dispersif) et sa partie imaginaire n'' (indice d'absorption). Tracer n' et n'' en fonction de ω .
7. En écrivant le champ électrique pour une onde électromagnétique plane et harmonique, montrer qu'il y a absorption et dispersion et justifier les noms des parties réelle et imaginaire de l'indice.

Exercice 3 : Équation de Klein-Gordon et masse du photon

1. Rappeler l'équation de propagation des ondes électromagnétiques dans le vide.

Dans le cadre de la théorie électromagnétique étendue au cas d'un photon de masse non nulle, l'équation de propagation du champ électrique devient

$$\Delta \vec{E} - \frac{1}{c^2} \frac{\partial^2 \vec{E}}{\partial t^2} = \eta^2 \vec{E}$$

2. Quelle est l'unité de η ?
3. Déterminer la relation de dispersion.
4. Exprimer les vitesses de phase et de groupe en fonction de c , ω et η . Les tracer. Commentaires?
5. Rappeler les expressions de l'énergie E et de la quantité de mouvement \vec{p} d'un photon.
6. Sachant que pour une particule relativiste de masse m , on a $E^2 = p^2 c^2 + m^2 c^4$, exprimer la masse du photon en fonction de η , \hbar et c .

Deux photons de longueurs d'ondes λ_1 et λ_2 sont émis au même instant par une source ponctuelle située à une distance L . On supposera $\eta^2 \lambda_{1,2}^2 \ll 1$.

7. Exprimer la différence δt des temps de réception des deux signaux.
8. L'observation de certaines étoiles doubles donne $\delta t < 1 \times 10^{-3}$ s pour $\lambda_1 = 0.4 \mu\text{m}$, $\lambda_2 = 0.8 \mu\text{m}$ et $L = 1 \times 10^3$ années lumières. En déduire une limite supérieure pour la masse du photon. Commentaire.

Semaine 16 (27/01-31/01)

Notions abordées :

- Ondes électromagnétiques dans les milieux matériels.
- Effet de peau.
- Réflexion sur un conducteur parfait.

Exercice 1 : Chauffage d'un métal par le soleil

Un métal, modélisé par un conducteur ohmique non chargé, de conductivité $\gamma = 38 \text{ MS/m}$ occupe le demi-espace $z \geq 0$.

1. Écrire les équations de Maxwell dans le métal.
2. On s'intéresse à des ondes électromagnétiques de fréquences inférieures ou égales à celles du visible. Par une analyse d'ordres de grandeur, montrer que l'on peut négliger le courant de déplacement dans l'équation de Maxwell-Ampère.
3. En déduire l'équation de propagation des ondes électromagnétiques dans un conducteur.
4. Établir l'équation de dispersion. En déduire l'épaisseur de peau δ en fonction de ω .
5. Écrire, en notation complexe, le champ électrique dans le conducteur pour une onde polarisée selon \vec{e}_x , se propageant selon e_z d'amplitude E_0 et de pulsation ω .
6. Exprimer le champ magnétique associé à cette onde.
7. Déterminer la puissance volumique dissipée par effet Joule dans le conducteur. Calculer sa valeur moyenne.
8. En déduire la puissance totale dissipée dans une portion $\mathcal{V} = [0, a] \times [0, a] \times [0, +\infty[$ de conducteur.
9. Pourquoi dit-on que ce sont les infrarouges qui font chauffer une carrosserie de voiture exposée au soleil ?

Exercice 2 : Propagation guidée entre deux plans

Deux plans infinis conducteurs parfaits délimitent une cavité vide entre $z = 0$ et $z = b$.

1. Rappeler l'équation de propagation du champ électromagnétique dans la cavité.

- Justifier que, contrairement à ce qu'on fait d'habitude, on ne peut pas chercher une solution sous la forme d'une OPPH.

On cherche une solution de l'équation sous la forme

$$\vec{E}(x, z, t) = \beta(z) \vec{u}_y \cos(\omega t - kx)$$

- Déterminer l'équation différentielle vérifiée par β . En donner la solution générale.
- Montrer que l'onde ne peut exister que si $\omega > kc$. Commenter en relation avec la relation de dispersion habituelle.
- Déterminer complètement $\beta(z)$.
- Déterminer la relation de dispersion.
- En déduire qu'il existe une pulsation minimale pour qu'une onde électromagnétique se propage dans le guide.

Réponse : $\vec{k}^2 = \frac{\omega^2}{c^2} - \frac{n^2 \pi^2}{b^2}$

Exercice 3 : Lois de Descartes sur la réflexion et la réfraction

L'objectif de cet exercice est de redémontrer les lois de Descartes à l'interface entre deux diélectriques.

On rappelle que dans un diélectrique, tout se passe comme dans le vide, à condition de remplacer ϵ_0 par $\epsilon = \epsilon_0 \epsilon_r$.

On considère donc deux diélectriques accolés. Le milieu 1 de permittivité \epsilonpsilon_1 occupe le demi-espace $z < 0$. Le milieu 2 de permittivité \epsilonpsilon_2 occupe le demi-espace $z > 0$.

On considère également une OPPH électromagnétique incidente $(\vec{E}_i, \vec{B}_i, \omega_i, \vec{k}_i = k_{i,x} \vec{e}_x + k_{i,z} \vec{e}_z)$ provenant du milieu 1 vers l'interface avec un angle α par rapport à la normale. Pour simplifier, on suppose le champ électrique incident polarisé rectilignement selon la perpendiculaire au plan d'incidence.

On rappelle qu'à une interface, la composante tangentielle du champ électrique est continue.

- Rappeler les trois lois de Descartes.
- Justifier qu'il doit exister une onde transmise et/ou une onde réfléchie.

On appellera $(\vec{E}_t, \vec{B}_t, \omega_t, \vec{k}_t)$ l'onde transmise et $(\vec{E}_r, \vec{B}_r, \omega_r, \vec{k}_r)$ l'onde réfléchie.

3. Justifier qualitativement que, si ils existent, les champ électrique transmis et réfléchi ont la même polarisation que le champ électrique incident.
4. Sur un schéma, faire figurer l'interface, les trois ondes ainsi que les angles respectifs.
5. Montrer que les ondes ont toute la même pulsation.
6. Montrer que les ondes ont toute le même k_x .
7. Montrer que $\frac{\vec{k}_t^2}{\epsilon_{r2}} = \frac{\vec{k}_r^2}{\epsilon_{r1}} = \frac{\vec{k}_i^2}{\epsilon_{r1}}$.
8. En déduire les lois de Descartes sur la réflexion et la réfraction.

MP SEMAINE 16 (27/01-31/01)
