

MONTAGES

Consulter rapport jury, préparer questions, être au point sur incertitudes et définitions, comparer aux valeurs théoriques et tabulées, prendre chrono.

1. Dynamique du point et du solide.

Biblio : poly (mécanique), BFR, Quaranta, Pérez

Matériel : écran, balles (ping-pong ou golf), caméra rapide, palet, masses, plan en bois, poulie, tiges, grande règle, potence, gyroscope et perceuse.

Intro : les lois de la dynamique permettent de relier le mouvement d'un corps aux actions qui s'y appliquent. Ces mouvements peuvent être très divers : accélération, mouvement ralenti, rotation pour un solide. Nous allons donc nous intéresser à différents mouvements, la chute libre, le ralentissement par frottement solide et la rotation d'un solide, le gyroscope.

I – Chute libre

Mouvement simple et pourtant au cœur de l'histoire de la physique. On lâche une balle devant un écran muni d'une échelle verticale. On filme et on analyse sur Cinéris (caméra rapide branchée, format d'image au max, couper début et fin, fixer axes dans *étalonnage*, réduire fenêtre dans *cadre de travail*, définir objet dans *paramétrage*, régler contraste, après copier-coller les colonnes une à une dans qtiPlot). Ajustement parabole, mesure de g. Coefficient de restitution par traitement énergétique, pertes (au moment du rebond, pas trop frottements).

II – Frottements solides

On s'est intéressé à une cinématique ponctuelle mais en négligeant les frottements dans la dynamique. Maintenant ces derniers sont très importants. $f_d = \frac{m_2 h}{m_2 d + m_1 (h+d)}$ à montrer en raisonnant en 2 parties. Ajustement $m_2 h = f_d x$.

III – Solide en rotation : le gyroscope

Maintenant cinématique non ponctuelle. Equilibrage, mise en rotation, déséquilibrage, mesure de la vitesse de rotation sur un tour (moyenne vitesse début et fin) et nombre de tours autour de l'axe vertical. $\Omega = \frac{mga}{J\omega}$. Validation de l'approximation gyroscopique : comparer $J\omega$ et $ma^2\Omega$.

Conclusion : différentes dynamiques d'un objet ponctuel, dynamique d'un solide, approximations, applications. La force principale dans toutes nos histoires est la gravitation.

2. Surfaces et interfaces.

Biblio : poly (mécanique, ondes II, fluides), Quaranta, De Gennes, Guyon

Matériel : cuve à ondes, eau distillée, générateur, oscillo, pied à coulisse, plan incliné, palets, masses, plan en bois, poulie, tiges, grande règle, potence, 3 supports élévateurs, cuve et tubes Jurin, alcool, lentille 20, QI.

Intro : à l'échelle macroscopique, les corps possèdent une surface qui délimitent leur intérieur et leur extérieur. Il existe de nombreux phénomènes physiques se déroulant aux surfaces de corps mis en contact : à leur interface. Dans ce montage on va s'intéresser à des interfaces statiques (équilibre) et dynamiques (mouvement, propagation), en jonglant entre l'interface solide-solide et l'interface fluide-fluide (en particulier liquide-gaz).

I – Interfaces statiques

1) Loi de Jurin

$$P_{\text{capillaire}} = P_{\text{atm}} - \frac{2\gamma \cos\theta}{r} \quad \text{d'où } h = \frac{2\gamma \cos\theta}{r\rho g} \quad \text{et } \cos\theta \approx 1 \quad (\text{pas de mouillage car alcool})$$

$$r \ll lc = \sqrt{\frac{\gamma}{\rho g}}$$

2) Coefficient de frottement statique bois-bois

Mesure angle limite avec support élévateur $f = \tan\alpha_{lim}$. On peut montrer les lois du frottement aussi.

II – Interfaces dynamiques

1) Coefficient de frottement dynamique

$$f_d = \frac{m_2 h}{m_2 d + m_1 (h+d)} \quad \text{à montrer en raisonnant en 2 parties. Ajustement } m_2 h = f_d x.$$

Montrer que dynamique plus petit que statique.

2) Ondes de surface

Mettre assez d'eau permutee ($\theta(hk)=1$), bien nettoyer, mesurer grandissement, ajustement $\omega^2 = th(kh)(gk + \frac{\gamma}{\rho} k^3)$.

Conclusion : interfaces s-s caractérisées par un coefficient de frottement, liquide-gaz par une tension superficielle. Il y a des interfaces mixtes (mouillages goutte ou retour loi de Jurin). Description microscopique parfois complexe mais expériences intéressantes et visuelles. Nombreuses applications (adhésion, tensioactifs...)

3. Dynamique des fluides.

Biblio : poly (ondes II, fluides), Guyon

Matériel : manip Poiseuille, balance, éprouvette, vase de glycérine, billes métalliques, cuve à ondes, générateur, oscillo, pied à coulisse, alcool, chronomètre, caméra rapide.

Intro : la dynamique des fluides regroupe des phénomènes très riches, écoulement à différents régimes (introduire le nombre de Reynolds qu'on évaluera à chaque manip), interaction entre un solide et un fluide, interaction entre fluides (interface liquide-gaz). On fait intervenir des effets propres aux fluides, tels que la viscosité et la capillarité.

I – Ecoulement de Poiseuille

Régime laminaire $Re = \frac{2r\rho U}{\eta}$. Mesures à pressions différentes, attendre établissement régime permanent, évaluer débit en pesant éprouvette. Remonter à $Q = \frac{\pi r^4 \Delta P}{8\eta L} = \frac{\pi r^4 \rho g h}{8\eta L}$ (savoir le montrer). Terme convectif de Navier-Stokes nul géométriquement.

II – Mouvement dans un fluide visqueux

Régime de Stokes $Re = \frac{2R\rho v}{\eta}$. Force de Stokes $F = -6\pi\eta Rv$ (on a aussi la gravité et Archimète). Vitesse constante au bout d'un certain temps. Dépendance en R, remontée à la viscosité du glycérol. Sources d'erreur : glycérol hygroscopique (de plus en plus d'eau avec l'âge), effets de bord. On mesure la viscosité (viscosimètre à chute de bille) mais on vérifie surtout la loi de Stokes.

III – Ondes de surface

Longueur capillaire. Reynolds ou Froude ? Mettre assez d'eau permutee ($th(kh)=1$), bien nettoyer, mesurer grandissement, ajustement $\omega^2 = th(kh)(gk + \frac{\gamma}{\rho}k^3)$.

Conclusion : la dynamique des fluides regroupe des phénomènes très divers et riches, on a étudié le mouvement (écoulement) d'un fluide, le mouvement d'un solide dans un fluide (applications portance dans l'air cette fois) et la propagation d'ondes à l'interface entre deux fluides. La théorie est complexe : importance de l'expérience et de nombres sans dimension. Si Re augmente beaucoup, turbulence et non-linéarités, sujet de recherche actif.

4. Capteurs de grandeurs mécaniques.

Biblio : poly (capteurs de grandeurs mécaniques), Asch

Matériel : capteur de niveau d'eau capacitif, LCR-mètre, éprouvette, accéléromètre, 3 multimètres, oscillo, jauge de contrainte, règle, porte-plaque, élévateur, potences, noix, pince.

Intro : définition capteur. On va s'intéresser à des grandeurs mécaniques de deux types (cinématique et dynamique) et on va étudier les propriétés des capteurs, comme la précision, la sensibilité, la gamme ou la linéarité.

I – Capteur de position

Première grandeur à laquelle on peut penser. Nombreuses méthodes de mesure de position dépendant de l'échelle et de la précision souhaitée. Ici on s'intéresse à la position d'une interface eau-air, on utilise de l'eau distillée, on mesure en montant l'éprouvette (hystérésis) et on sèche si on veut recommencer. La gamme de mesure est assez restreinte, discuter précision et finesse, éventuellement réponse.

II – Accéléromètre

Maintenant le mouvement. Il faut connaître l'accélération théorique $r\dot{\theta}^2$. Fourche optique. Ici on a encore un capteur capacitif (c'est un transducteur). On fait varier la distance à l'axe et on relève les tensions qu'on associe à la valeur théorique en allant au-delà de la saturation (4g). On ajuste pour obtenir une droite de pente 1. Gamme : de 0 à saturation. Précision : écart à la théorie. Sensibilité : $\frac{1}{V_y} \frac{dV_y}{da} = \frac{K}{V_y}$ par linéarité à comparer à celle fournie. En fait la position du capteur dans le boîtier est inconnue.

III – Jauge de contrainte

Grandeur dynamique (contrainte : poids) convertie en déformation (par le matériau) convertie en résistance (propriété du semiconducteur) convertie en tension (via le pont). Relever tension pour différentes masses connues, remonter au facteur de jauge. Gammes de mesure (masse maximale) et de linéarité (la tension double-t-elle quand on double la masse ?). Faire de même en mesurant directement la résistance sans pont : avantages, inconvénients, sensibilité.

Conclusion : chaque capteur a des caractéristiques propres, des avantages et des inconvénients et il faut les choisir suivant la gamme et la précision recherchées (généralement on fait un compromis entre les 2). Les mêmes critères s'appliquent à d'autres types de grandeurs comme la température.

5. Mesure de température.

Biblio : poly (thermométrie), Asch

Matériel : azote, Dewar, plaque chauffante, agitateurs, bécher, résistance à fil de Pt, thermistance, potences et noix, cristallisoir avec glace, manip point triple, manip corps noir (four, thermocouple, thermopile, millivoltmètre).

Intro : température, première étape est de définir une unité de température, anciennement Kelvin à partir du point triple de l'eau, depuis mai 2020 à partir de la constante de Boltzmann, échelle, définition d'instruments légaux d'interpolation puis étalonnage à partir desquels on étalonne les autres types de thermomètres.

I – Pyrométrie optique

Rayonnement du corps noir : mesure à distance. Mesures en descente, ajustement pour retrouver l'exposant 4, incertitudes propres. Thermomètre primaire mais pas pratique. D'ailleurs on utilise un thermocouple ici.

II – Etalonnage d'une résistance à fil de platine

Plus pratique : mesure de contact. Étalonner avec points de référence (équilibres : point triple azote, azote bouillant, glace fondante, eau bouillante), notices. Thermomètre secondaire. Instrument légal d'interpolation.

III – Etalonnage et étude d'une thermistance

On va utiliser cet instrument légal pour étalonner un thermomètre pratique, la thermistance (exemples utilisations). Ajustement exponentiel et remontée au gap.

Conclusion : mesure de température suit un processus long, complexe et très normé pour obtenir des thermomètres précis, applications, discuter l'importance des plages de mesure et de la sensibilité, influence éventuelle de la pression.

6. Transitions de phase.

Biblio : poly (transitions de phase), Fruchart

Matériel : manip étain (creuset, chauffage, thermocouple, acquisition), manip SF6 (colonne et cellule avec sèche-cheveux), manip Curie.

Intro : définition, propriétés macroscopiques, intérêts pratiques et théoriques.

I – Transitions du premier ordre

1) Refroidissement de l'étain

On a déjà lancé et on mesure la température de fusion, éventuellement à la fin du montage.

2) Isothermes du SF6

Plusieurs courbes en préparation, bien attendre pour les hautes pressions. On remarque que la chaleur latente (via relation de Clapeyron) diminue avec la température : on approche du point critique. Comparer avec données tabulées.

II – Transitions du second ordre

1) Opalescence critique du SF6

Pas de chaleur latente. Description cellule et phénomène d'opalescence.

2) Température de Curie du fer

Divergence de la susceptibilité cette fois, présenter ferro-para. On sous-estime la température critique car l'aimant se détache dès que le poids bat l'aimantation.

Conclusion : deux types de transitions de phase (premier ordre très connu : changement d'état, second ordre un peu particulier car transition continue), c'est complexe théoriquement car il faut des modèles sophistiqués d'où l'importance de l'expérience, ouverture sur les retards à la transition en revenant sur l'étain.

7. Instruments d'optique.

Biblio : poly (instruments d'optique), Sextant

Matériel : 3 lampes QI, condenseurs, diaphragmes, banc optique, lentilles (20/20/10/10/15/50), grille diffusante, objectif, filtres, grande lentille, lentille non corrigée chromatiquement.

Intro : instrument d'optique sert à former l'image d'un objet (infini/fini, différents cas), on cherche à avoir une image assez grande pour l'observer correctement. On peut étudier de nombreux paramètres (grossissement, grandissement, profondeur de champ) et les limitations.

I – Modélisation d'une lunette astronomique

Mesurer focales, construire lentille, modéliser œil et étoile, objectif de grande focale et oculaire de petite focale, mesure grossissement et comparaison $-f_{ob}/f_{oc}$, rôle des diaphragmes.

II – Etude d'un objectif d'appareil photographique

Diaphragme de champ et ouverture numérique, important dans les instruments réels, comme celui-ci, présenter bagues étude de l'ouverture (profondeur de champ avec grille et éclairement avec dépendance nombre d'ouverture), compromis profondeur-éclairement.

III – Limitations des instruments

Lentilles à la base des instruments, explication aberrations géométrique (sphérique) et chromatique, règle des 4P, il faut corriger tout ça pour construire nos instruments, limitation par diffraction (caractère ondulatoire).

Conclusion : différents instruments pour différents buts, nécessiter de corriger les aberrations et de faire un choix entre plusieurs arguments selon l'usage.

8. Interférences lumineuses.

Biblio : poly (interférences), Sextant, Fruchart

Matériel : Michelson avec accessoires, 2 laser, CCD Mightex avec densités, lampes (Philora hp, Na), condenseurs, règle, lentilles (10/10/15/20/50/100), filtre 546nm, bifente étalonnée, fente réglable, écrans.

Intro : historique, interférences en général (pas que lumineuses), cohérence, conditions d'obtention, division de front d'onde et d'amplitude.

I – Fentes d'Young

Laser et bifente d'écartement a et largeur b , interférogramme sur CCD, ajustement (formule de Fresnel) $I = I_0 \text{sinc}^2 \frac{\pi b(x-x_0)}{\lambda D} (1 + \cos \frac{2\pi a(x-x_0)}{\lambda D})$. Formule de l'interfrange. Non-localisation en déplaçant l'écran. Cohérence spatiale et contraste.

II – Etude du doublet du sodium à l'interféromètre de Michelson

Division d'amplitude : différence de marche ne dépend pas de la position de la source. Lame d'air, rayon des anneaux.

III – Interférences et polarisation

Expérience de Fresnel – Arago au Michelson.

Conclusion : division de front d'onde pratique car non-localisation mais problème de cohérence spatiale. Division d'amplitude résout le problème au prix de la localisation. Polarisation induit une nouvelle forme de cohérence Interférométrie utilisée actuellement, par exemple avec les ondes gravitationnelles.

9. Diffraction des ondes lumineuses.

Biblio : poly (diffraction), Sextant

Matériel : 2 laser, élargisseur de faisceau, fente calibrée, lycopodes, CCD Mightex avec densités, Philora, condenseurs, lentilles (10/10/20/25/100), filtre 546nm, réseau tabulé, règle, petit diaphragme, écrans.

Intro : phénomène ondulatoire (pas seulement lumineux) se produisant lorsque l'onde rencontre un objet pas trop grand devant sa longueur d'onde : obstacle, trou.

I – Diffraction par une fente unique

Fraunhofer, laser devant caméra (densité 3), ajustement $I = I_0 \text{sinc}^2 \frac{\pi b(x-x_0)}{\lambda D}$. Impact qualitatif de l'élargissement ou du rapprochement de la fente.

II – Diffraction par un réseau

Structure périodique (grand nombre d'objets diffractant). Formule des réseaux.

III – Mesure par diffraction

Toujours un grand nombre d'objets à l'origine de la diffraction : remonter à leurs propriétés. Commencer par diffraction trou pour montrer forme puis mesure avec poudre (N pupilles sphériques aléatoirement réparties, lien avec Babinet ?), annulation intensité $r = 1.22 \frac{\lambda f}{d}$.

Conclusion : diffraction et limite de résolution, mais utilité (mesures de petits objets, filtrage spatial).

10. Spectrométrie optique.

Biblio : poly (spectroscopie), Sextant, Fruchart

Matériel : spectromètre USB, lampes (philora hp, Balmer, sodium), laser, condenseurs, Michelson, PVD, lentilles (10/10/15/20/50/100), filtre 546nm, miroir, réseau tabulé, règle, potence/tiges/pince, écrans.

Intro : spectres d'émission car transitions électroniques. Ici on veut étudier la décomposition de rayonnements lumineux pour analyser leur spectre. Plusieurs classes de méthodes, interférentielles permettant d'analyser la structure d'une raie et dispersive (passage par une fente) permettant de repérer plusieurs raies. Mini-manip PVD pour illustrer ce dernier cas, influence de la fente source, mais problèmes de dispersion importante, de déviation non-linéaire et d'encombrement.

I – Formule des réseaux

Diffraction par structure périodique, pouvoir de résolution.

II – Détermination de la constante de Rydberg

Spectro USB et lampe Balmer, présenter fonctionnements, fibre optique large dans la lampe, ajustement $\frac{1}{\lambda_{nm}} = R_\infty \left(\frac{1}{n^2} - \frac{1}{m^2} \right)$. Incertitudes et résolution.

III – Etude du doublet du sodium

Non résolu par spectromètre dispersif : méthode interférentielle beaucoup plus fine (mais gamme réduite).

Conclusion : différentes méthodes selon but recherché, spectrométrie dispersive pour mesurer longueur d'onde, spectrométrie interférométrique pour résoudre profil raies spectrales. Applications (astro par exemple).

11. Émission et absorption de la lumière.

Biblio : poly (spectroscopie, semiconducteurs), Sextant, Fruchart

Matériel : spectromètre USB, lampes (philora hp, Balmer), illuminateur-monochromateur, GaP, photodiode, oscillo, condenseurs, laser, lentilles (10/10/50/100), cuve rhodamine, diaphragme, filtre antithermique, filtre 546nm, écrans.

Intro : présenter différents modes d'émission (rayonnement du corps noir : spectre continu, laser : émission stimulée, émission par transitions électroniques étudiée ici). De même qu'une désexcitation entraîne l'émission, une absorption est associée à une excitation, différence d'énergie reliée à une raie d'absorption. On a aussi des phénomènes de fluorescence.

I – Emission spontanée de l'hydrogène

Détermination de la constante de Rydberg avec spectro USB et lampe Balmer (présenter fonctionnements), fibre optique large dans la lampe, ajustement $\frac{1}{\lambda_{nm}} = R_\infty \left(\frac{1}{n^2} - \frac{1}{m^2} \right)$.

II – Absorption par un semiconducteur

Couleur apparente de l'échantillon, mesure longueur d'onde d'extinction à l'œil ou à la photodiode, absorption et gap. Remarque : l'illuminateur est une source de type corps noir.

III – Emission et absorption moléculaire

Certaines substances sont capables d'absorber la lumière et d'en réémettre à une longueur d'onde plus élevée. Absorption et émission de la rhodamine. Lien entre couleur perçue et longueur d'onde. Beer-Lambert ?

Conclusion : émission et absorption a priori simples, sources primaires et secondaires, couleur objet... Mais phénomènes fondamentaux riches et lien fort avec caractéristiques sources.

12. Photorécepteurs.

Biblio : poly (photorécepteurs), Fruchart, Sextant

Matériel : QI, laser, photodiode, GBF, puissance mètre pour laser, DEL rouges, transformateur d'isolement, boîte de résistances, condenseurs, multimètres, oscillos, cellules solaires, thermopile, câbles.

Intro : définition photorécepteur, deux types (photonique et thermique). On va étudier les propriétés de plusieurs photorécepteurs.

I – Propriétés d'une photodiode

Détecteur rapide, linéaire et pas cher. Caractéristique courant – tension : transformateur d'isolement, alimentation photodiode, mode XY de l'oscillo. Connaître type photodiode, courant d'obscurité. Sensibilité et rendement quantique. Vérification linéarité avec DEL.

II – Temps de réponse d'une thermopile

La linéarité c'est pratique et c'est aussi le cas pour des photorécepteurs thermiques. On peut aussi mentionner la sensibilité.

III – Rendement d'une cellule photovoltaïque

Applications des photorécepteurs : image (CCD), conversion d'énergie étudiée ici. Rendement pour un ou plusieurs types de cellules. On a une photopile et une thermopile étudiée précédemment.

Conclusion : différents usages des photorécepteurs, choix selon caractéristiques, on en a étudié quelques-unes (caractéristique, linéarité, rendement, sensibilité, temps de réponse). On peut combiner les récepteurs mentionnés à la fin pour faire une barrette CCD ou un panneau solaire.

13. Biréfringence, pouvoir rotatoire.

Biblio : poly (polarisation II), Sextant

Matériel : lames polarisation, électroaimant, flint effet Faraday, PVD, spectromètre USB, QI, fente réglable, polariseurs, lentilles (10/15/20/50/100).

Intro : définitions (biréfringence (anisotropie) : indices différents suivant polarisation onde, pouvoir rotatoire/activité optique (souvent chiralité) : milieu fait tourner direction polarisation onde), différents axes... Ici milieux uniaxes.

I – Biréfringence d'une lame épaisse

Lame épaisse de quartz parallèle. Spectre cannelé au PVD et spectro. Savoir ce qu'est le compensateur de Babinet. Faire le noir.

II – Loi de Biot

Maintenant le pouvoir rotatoire : lame mince de quartz perpendiculaire. Loi de Biot, dépendance en longueur d'onde.

III – Effet Faraday

Activité induite. Electroaimant avec pièces tronconiques trouées. Brisure de symétrie par le champ (inverser champ pour voir ?). Détermination V. $0.1'G \cdot 1\text{cm}^{-1} = 1700^\circ T \cdot 1\text{m}^{-1}$ (à vérifier).

Conclusion : 2 phénomènes, applications (lames pour créer polarisation souhaitée, isolateur, activité optique en chimie).

14. Polarisation des ondes électromagnétiques.

Biblio : poly (polarisation I et II, ondes II), Sextant

Matériel : émetteur micro-ondes avec cornet et matériel hyperfréquences, multimètres, oscillo, Philora hp, condenseurs, laser filtre antithermique, filtre 546nm, écrans, lame quart d'onde 546nm, polariseurs, diaphragme, lentille 10, miroir diélectrique, élévateur, potence, noix, pince.

Intro : électromagnétisme présente la propagation des OEM par les champs E et B vectoriels couplés. La polarisation correspond à la trajectoire de l'extrémité du champ E dans un plan d'onde (quand on regarde dans le bon sens). On va d'abord mettre en évidence le caractère vectoriel d'ondes électromagnétiques, puis on va étudier la polarisation de la lumière.

I – Polarisation rectiligne d'ondes centimétriques

Emetteur et cornet analyseur fixé un peu loin sur socle tournant avec rapporteur pour montrer loi de Malus, pas besoin de grille à courants de Foucault normalement. Mesure qualitative à l'oscillo puis ajustement de U^2 (proportionnel à I) $A \cos^2(\theta - \theta_0) + B$.

II – Production de lumière polarisée

Maintenant on va se limiter au domaine optique mais explorer des polarisations plus riches (et c'est quand même plus pratique). Utilisation d'un polariseur devant lampe et évolution intensité avec analyseur. Polarisation par réflexion, détermination de l'angle de Brewster.

III – Analyse de lumière polarisée

On a obtenu une lumière polarisée elliptiquement et on va voir comment analyser ce type de lumière. Production de lumière de laser polarisée elliptiquement par biréfringence. Laser et mesure de l'ellipticité, on peut comparer les 2 méthodes.

Conclusion : en général les lumières (sources classiques) ne sont pas polarisées. Si elles le sont c'est une polarisation elliptique dont font partie circulaire et rectiligne. Applications verres anti-reflet. Montrer effet polariseur sur écrans LCD.

15. Production et mesure de champs magnétiques.

Biblio : poly (magnétisme), Quaranta

Matériel : électroaimant, teslamètre, sondes Hall, fluxmètre avec filtre, manip champ terrestre, alimentations, multimètres, bobines de Helmholtz, aimants permanents, potence avec pinces et noix, pied à coulisse, câbles.

Intro : les champs magnétiques sont partout, naturellement comme le champ magnétique terrestre ou dans de nombreuses applications. On va étudier des champs d'intensités très différentes avec un teslamètre et un fluxmètre, dont on présente le fonctionnement avec une première source des aimants permanents.

I – Champ magnétique créé par des bobines

Première idée : un champ magnétique créé par un fil. Sonde de Hall longitudinale pour mesurer champ en différents points (une bobine épaisse c'est comme une spire). Trois cas : une bobine, Helmholtz, anti-Helmholtz.

II – Champ magnétique terrestre

Grâce à des courants on peut donc créer des champs et ainsi mesurer la composante horizontale du champ terrestre grâce à un champ qu'on connaît.

III – Champ magnétique d'un électroaimant

Pièces tronconiques et sonde de Hall transverse sur potence. Vérifier homogénéité et mesurer épaisseur au pied à coulisse. On fait varier I et on doit avoir $s/S=1/4$ et $N=5600$. Être au point sur formules.

Conclusion : on a étudié quatre sources, on a fait de la production et de la mesure de champs magnétique. Applications : conversion de puissance, IRM, accélérateurs...

16. Milieux magnétiques.

Biblio : poly (magnétisme, transitions de phase), BFR

Matériel : électroaimant, pièces para-dia-ferro, manip FeCl₃ avec lampe sur potence, lentille 20, écran, sèche-cheveux, teslamètre, manip Curie, boîtes de résistance et de capacité, câbles.

Intro : les milieux magnétiques nous entourent, il en existe plusieurs types, manip avec trois pièces différentes dans entrefer de l'électroaimant, différentes propriétés et caractérisation par la susceptibilité.

I – Susceptibilité du FeCl₃

Pièces tronconiques, mesure de B, h en fonction de B² et susceptibilité via pente. Valeur tabulée 3.10⁻⁶ normalement. Eventuellement montrer influence température avec sèche-cheveux et faire le lien avec la troisième partie.

II – Propriétés d'un électroaimant

On a utilisé un électroaimant : ferromagnétisme (aimantation à champ nul), caractéristiques (fer doux qui canalise les lignes de champ), mentionner l'hystérésis qui est un phénomène central. Pièces tronconiques et sonde de Hall transverse sur potence. Vérifier homogénéité et mesurer épaisseur au pied à coulisse. On fait varier I et on doit avoir s/S=1/4 et N=5600. Insister sur la perméabilité.

III – Température de Curie du fer

En fait les propriétés magnétiques ne sont pas intrinsèques et résultent d'une compétition entre interaction d'échange et agitation thermique. En augmentant la température l'agitation gagne et on a une transition de phase ferro-para (on sous-estime la température critique car l'aimant se détache dès que le poids bat l'aimantation).

Conclusion : différents milieux, applications des milieux magnétiques (conversion de puissance, disques durs avec matériaux doux et dur), supraconductivité ?

17. Métaux.

Biblio : poly (thermométrie, physique non-linéaire, métaux), Kittel, Fruchart

Matériel : cuivre pour conduction thermique, fil de cuivre, bain thermostaté, barreau aimanté, agitateur magnétique chauffant, alimentation stabilisée, thermocouples, multimètres 4 points, oscillo, elastica, masses, niveau.

Intro : bien définir métal (Wikipedia, Kittel : bandes et électrons délocalisés), propriétés communes (montrer un ou plusieurs métaux et faire des commentaires : chaleur, solidité, aspect brillant, dire que c'est des tous des conducteurs en montrant des fils électriques), ici on va illustrer quelques propriétés, sur des métaux différents.

I – Propriétés électriques

Propriété essentielle des métaux. Conductivité électrique du cuivre avec bobine dans eau, mesure 4 points, différentes températures en descente, thermocouple ou résistance Pt, lien entre conductivité et propriétés optiques, mesure de la résistance (augmente avec T) peut servir à obtenir température (thermométrie).

II – Propriétés thermiques

On a fait un lien entre conductivité et température, on sait qu'un métal froid ça fait très froid et qu'un métal chaud ça fait très chaud, donc également propriétés thermiques importantes. On suppose toute la puissance transmise au barreau de cuivre : $RI^2 = P = \frac{\lambda \Delta TS}{L}$. Temps régime permanent environ L^2/D . En fait on surestime λ car pertes thermiques. Loi de Wiedemann-Franz impressionnante : lien entre parties I et II, interprétation physique avec électrons.

III – Propriétés mécaniques

Propriétés ne se limitent pas aux conductions, applications mécaniques des métaux. Elastica en acier. Masse critique (environ 60g) reliée au module d'Young, la déterminer à la main ou en ajustant la période, remonter à E et donner ODG pour divers métaux et autres matériaux. Métaux solides mais ductiles, flambage mais pas rupture, exemple du béton armé.

Conclusion : on a montré plusieurs propriétés mentionnées au début. Universalité. Loi de W-F. Les métaux ont toutes ces propriétés. Le diamant est un très bon conducteur thermique mais très mauvais électrique. Certains polymères ont une très grande rigidité mais une très mauvaise conductivité électrique et thermique.

18. Matériaux semi-conducteurs.

Biblio : poly (semiconducteurs), Sextant, Quaranta, Kittel

Matériel : barreau de Germanium non dopé, plaquette à effet Hall, alimentations, multimètres, teslamètre, oscillo, électroaimant, illuminateur-monochromateur, GaP, GaAs, photodiode, lentille 10, potence, noix, tige.

Intro : définition propre, bandes, différentes propriétés qu'on va étudier ici (gap, porteurs, électrons et trous, absorption). Avoir odg en tête.

I – Energie de gap d'un semi-conducteur intrinsèque

Présenter plaquette. Evolution de la conductivité avec la température (résistance chauffante et thermocouple). On mesure la résistance à l'ohmmètre en descente de température, les incertitudes sont importantes car ça varie vite. Ajustement linéaire pour remonter au gap, offset éventuel sur la température.

II – Densité de porteurs dans un semi-conducteur extrinsèque

La plupart des semi-conducteurs sont dopés, ils sont caractérisés par une densité de porteurs de charges. D'abord on étudie le signe des charges dans les échantillons N et P via la tension Hall puis on mesure cette tension dans l'électroaimant avec pièces cylindriques pour plusieurs valeurs de B après avoir annulé chute ohmique et on ajuste (c'est le principe du teslamètre à effet Hall).

III – Absorption de la lumière par un semi-conducteur

Si l'énergie de gap coïncide avec l'énergie du rayonnement, interaction entre propriétés optiques et électroniques. Couleur apparente de l'échantillon de GaP (et GaAs si temps), mesure longueur d'onde d'extinction à l'œil ou à la photodiode, absorption et gap.

Conclusion : applications (transistors, mesure de température, panneaux solaires...)

19. Effets capacitifs.

Biblio : poly (capteurs de grandeurs mécaniques), Quaranta

Matériel : condensateur d'Aepinus avec plaques, LCR-mètres, oscillos, capteur de niveau d'eau capacitif, éprouvette, eau distillée, élévateur, potence, noix, pince, bobine Leybold, GBF, boîtes de résistances, pied à coulisse, câbles.

Intro : effets d'accumulation de charges sur des conducteurs isolés en influence électrostatique, comme sur les armatures d'un condensateur. Définir la capacité, lien avec la géométrie et ainsi avec les caractéristiques du système, donc applications de la mesure de capacité. Mais aussi effets parasites indésirables. Être au point sur le LCR-mètre.

I – Modèle expérimental : le condensateur d'Aepinus

Mesure de capacité avec puis sans diélectrique pour différents espacements, câbles courts, ajustement $C = \frac{\epsilon_0 \epsilon_r S}{e}$, voir notice pour écarts. Sources : effets de bords, formule vraie en électrostatique mais le LCR-mètre fonctionne en sinusoïdal.

II – Application à la mesure d'un niveau d'eau

On utilise de l'eau distillée, on mesure en montant l'éprouvette (hystérésis) à 100Hz pour négliger capacité eau. Etalonnage en préparation, schéma clair pour faire le lien avec la capacité.

III – Effets capacitifs dans une bobine

Mais les effets capacitifs ne sont pas toujours souhaités. A haute fréquence, une bobine se comporte comme un RLC parallèle : $Z = \frac{jL\omega}{1 + \frac{j\omega}{Q\omega_0} - (\frac{\omega}{\omega_0})^2}$, $\omega_0 = \frac{1}{\sqrt{LC}}$, $Q = r\sqrt{\frac{C}{L}}$. Diagramme de

Bode pour avoir la pulsation, mesure de L, on attend une capacité d'environ 100pF pour la bobine. Effet présent aussi dans les câbles et les oscillos ce qui augmente le temps de réponse.

Conclusion : applications quotidiennes (jauge de niveau de carburant, accéléromètre et écrans tactiles). Les capacités sont à la fois des composants électriques utiles, des outils de mesures et des limitations.

20. Induction, auto-induction.

Biblio : poly (magnétisme, résonance), Quaranta, Duffait

Matériel : bobines de Helmholtz, aimant permanent, 3 boîtes de résistances, 2 boîtes de capacités, boîte d'inductances, manip Foucault, multimètres, LCR-mètre, 3 oscillos, câbles.

Intro : apparition d'une fem suite à une variation de flux de champ magnétique. Neumann (champ variable et circuit fixe) et Lorentz (champ stationnaire et circuit mobile).

I – Loi de Lenz – Faraday

Mettre en évidence loi avec manip qualitative puis faire le circuit, dériver signal triangle, mesurer L , comparer à la valeur donnée par le LCR-mètre. C'est de l'auto-induction (flux du champ créé par le circuit).

II – Inductance mutuelle

On peut aussi avoir un flux d'un champ créé par un autre circuit, et réciproquement. Couplage entre bobines et mesure de M , qui dépend de la distance.

III – Freinage par courants de Foucault

Lien avec la loi de modération (on s'oppose au mouvement). Manip qualitative puis mesure, voir BUP, régime permanent et signaux de même amplitude, ajustement vitesse finale en fonction de la masse (modèle frottement fluide).

Conclusion : l'induction c'est riche et ça permet de transmettre une action mécanique à distance, conversion de puissance dans les moteurs.

21. Production et conversion d'énergie électrique.

Biblio : poly (conversion électrique, photorécepteurs), Sextant, HPrepa PSI électronique

Matériel : cellule polycristalline, QI, thermopile, alternostat, transfo 110/55, plaquette de redressement, alimentation, multimètres, wattmètre, boîtes de résistances, rhéostat, oscillo, câbles.

Intro : l'électricité est utilisée tout le temps, sa production est au cœur des questions environnementales et sa conversion est fondamentale car l'électricité n'est généralement pas produite de manière compatible à un usage domestique. On va suivre le chemin réel de production et de conversion électrique.

I – Production d'énergie électrique : cellule photovoltaïque

Caractéristique et rendement, point nominal de fonctionnement.

II – Conversion alternatif – continu : redresseur

L'électricité produite par divers moyens est transportée sous des tensions alternatives de plusieurs milliers de V. Un panneau solaire produit du continu donc on utilise un onduleur, inverse du redresseur (mais le redresseur est également très utile). Présentation plaquette, observation à l'oscillo, mesure résistance de sortie, formule pont diviseur.

III – Conversion alternatif – alternatif : transformateur

L'énergie est alors consommée sous 220V, d'où les transformateurs (il y en a un dans la plaquette). Bilan de puissance.

Conclusion : les pertes sont cruciales et il se pose aussi la question du transport, on a aussi de la conversion électromécanique.

22. Amplification de signaux.

Biblio : poly (transistor, AO), Duffait, Malvino

Matériel : AO, transistors, alimentations, GBF, oscillo, boîtes de résistances, micro, haut-parleur, câbles.

Intro : l'amplification de signaux est utilisée quotidiennement car la plupart des sources utilisées ne sont pas capables de fournir des puissances suffisantes, comme un microphone sur un haut-parleur qui possède une faible impédance d'entrée. Manip micro, oscillo, haut-parleur.

I – Amplification en tension

Présentation AO, dipôle actif, montage non-inverseur, visualiser amplification, (1) gain, conservation gain-bande, (2) limitation courant de sortie.

II – Amplification en puissance

Il y a donc une nécessité d'amplifier en puissance. (1) collecteur commun : on a un suiveur de tension, effet transistor, caractéristique, gain en courant du NPN (2) push-pull : gain en puissance, rendement, refaire avec micro ?

Conclusion : on peut combiner les 2, utilisation des transistors.

23. Mise en forme, transport et détection de l'information.

Biblio : poly (télécommunications, ondes II, cours Jeremy), Krob

Matériel : AO, multiplieur analogique, alimentations 12V/15V, interrupteur, multimètre, LCR-mètre, boîtes de capacités et de résistances, coax de 100m avec potentiomètre, plein d'oscillo/GBF/câbles.

Intro : nous vivons dans une société de l'information. On doit utiliser des OEM (porteuses) de fréquence bien plus élevée que l'information, d'où la modulation.

I – Modulation de fréquence

Présenter différents types de modulation, aujourd'hui surtout FM, signal sinusoïdal, caractéristiques VCO. Règle de Carson : FFT pour voir disparitions harmoniques, bande passante.

II – Transport dans un câble coaxial

Maintenant on veut transporter l'information : propagation filaire. Vitesse propagation et atténuation.

III – Boucle à verrouillage de phase

Détection du signal. Bien expliquer le principe (asservissement de la phase du signal de sortie sur celle du signal d'entrée). Décrire montage et rôles composants (chaîne directe, comparateur, VCO). Faire varier fréquence d'entrée et montrer que c'est suivi (verrouillage). Choisir doucement plages. Tracer Δf_v en fonction du gain de GBF3. Sélectivité du filtre diminue plage de capture mais c'est ce dont on a besoin en démodulation. Démoduler un signal (première partie) via un câble (deuxième partie).

Conclusion : il y a d'autres techniques de démodulation mais la PLL fait de la FM (transport plus rapide, pas d'atténuation, moins de puissance dans la porteuse, multiplexage) et permet de retrouver la fréquence de la porteuse. On a illustré les différentes étapes de la diffusion de l'information mais aujourd'hui on est à l'ère du numérique, on a des signaux carrés (bits) non périodiques.

24. Signal et bruit.

Biblio : poly (ondes I, cours Jeremy), Duffait

Matériel : 3 GBF, 3 oscillos, 2 multimètres, boîtes de résistances et de capacités, multiplicateur analogique, manip bruit thermique, potences, noix, pinces, ampli, alimentations, azote liquide, Dewar, cristallisoir, câbles.

Intro : le bruit est la partie indésirable d'un signal qu'on cherche à acquérir et est causé par un ensemble de phénomènes qu'on ne maîtrise pas. Le bruit perturbe le signal au moment de l'acquisition mais la numérisation du signal est aussi source de bruit (différence entre signal réel et signal numérisé), le bruit d'échantillonnage. On peut aussi imaginer des expériences avec le bruit de photons sur CCD en diffraction, les oscillations de Wien ou le bruit de grenaille dans un transistor.

I – Bruit d'échantillonnage

L'échantillonnage consiste à coder un signal sur des bits et donc à lui attribuer une valeur a priori différente, bruit numérique. Rampe d'un GBF visualisée à l'oscillo, différents calibres, acquisition Single, $\langle n^2(t) \rangle = \langle (s_{num}(t) - s_{ech}(t))^2 \rangle$ avec s_{ech} déterminé par ajustement, le coefficient directeur dépend du mode d'attribution des bits. Voir cours.

II – Récupération d'un signal par détection synchrone

Signal noyé sortant d'un GBF et FFT, insister sur le rapport signal/bruit, même chose après détection, éventuellement application Doppler ou démodulation.

III – Détermination de la constante de Boltzmann à partir d'un bruit thermique

Un exemple de bruit réel est le bruit thermique, par exemple l'agitation thermique des porteurs de charge dans une résistance donne pour la tension aux bornes $\langle Vb^2 \rangle = 4k_B T R \Delta f$. On va mettre le bruit (ici c'est le signal) à profit pour déterminer kB par ajustement, mesurer R et T dans l'azote, la glace, l'eau à différentes températures, éviter bananes.

Conclusion : le bruit est souvent un parasite dont on cherche à se débarrasser en augmentant le rapport signal sur bruit, dans la recherche astronomique notamment où le bruit peut être considérable, traitement, filtrage, mais utilisés comme déclenchement d'oscillations.

25. Mesure des fréquences temporelles (domaine de l'optique exclu).

Biblio : poly (ondes II, télécommunications), Quaranta

Matériel : pendule, 4 GBF, oscillos, multiplieur, alimentation, boîtes de résistances et de capacités, multimètre, manip Doppler avec piezos, câbles.

Intro : définition de la seconde et d'une fréquence, mesurer un temps c'est un des trucs qu'on sait le mieux faire (oscillateurs), on a une base de temps et donc d'inverse de fréquence.

I – Mesure par comptage

Si on compte le nombre d'occurrences d'un phénomène (périodes) par seconde on obtient sa fréquence. Pendule et incertitudes avec plusieurs mesures, traitement numérique. C'est l'idée d'un fréquencemètre.

II – Mesure électrique

C'était de la mécanique, maintenant on va utiliser le pont de Wien – Robinson. Présenter principe et mesure.

III – Mesure par comparaison

On peut se ramener à une différence de fréquences et donc à une fréquence faible mesurable avec précision. Principe de la détection synchrone. Accord de deux GBF, FFT, influence de la durée d'acquisition, stabilité en fréquence. Application Doppler.

Conclusion : diverses méthodes suivant nature du signal, gamme de fréquences et précision souhaitée. Au quotidien on fait des mesures par comptage (journées, battements du cœur, tours par minute...) mais les mesures de précision font souvent appel à de la détection synchrone ou à du numérique.

26. Mesure de longueurs.

Biblio : poly (interférences, diffraction), Sextant

Matériel : boîtier vitesse lumière, lentille 20, oscillo, miroir triple, QI, condenseurs, Michelson, manip électrons.

Intro : les mesures de longueurs sont fondamentales en physique, sur plusieurs ordres de grandeurs (noyau, atome, cristal, longueur capillaire, rayon terrestre, unité astronomique, diamètre galaxie, univers observable...), avec différentes méthodes. Défi de précision pour la recherche et les applications (micro-informatique) à toutes les échelles.

I – Mesure de distances usuelles par télémétrie laser

Définition du mètre, c'est parfaitement connue, donc intuitif de mesurer une longueur à partir du temps de parcours de la lumière (c'est la mesure temporelle qui limite ici). On fait deux mesures avec le miroir secondaire car les pics se chevauchent à trop faible distance, d'où déclenchement sur signal externe.

II – Mesure interférométrique de l'épaisseur optique d'une lame de verre

Si on a des longueurs beaucoup plus faibles, on ne peut plus utiliser de télémétrie. Mesures au Michelson coin d'air avec QI via différence de marche.

III – Mesure de la distance entre les plans réticulaires du graphite par diffraction d'électrons

Pour des longueurs plus faibles, comme à l'échelle atomique, on peut utiliser des effets indirects liés à la taille : diffraction. Attention aux branchements et aux tensions, ajustement.

Conclusion : techniques diverses à l'échelle du mètre, de la dixième de millimètre et de l'Angstrom, comparaison précisions données avec un mètre ou un pied à coulisse, parallaxe ou chandelle pour distances plus importantes.

27. Systèmes bouclés.

Biblio : poly (systèmes bouclés, télécommunications, cours Jeremy), Krob, Duffait

Matériel : AO 741 et 071, multiplieur analogique, boîtier asservissement, alimentations 12V/12V/12V/15V, interrupteur, multimètre, LCR-mètre, 3 boîtes de capacités, 5 boîtes de résistances, plein d'oscillo/GBF/câbles, oscillateur à quartz.

Intro : système avec une chaîne directe et une boucle de rétroaction, la sortie rétroagit sur l'entrée. Instable : oscillations. Stable : asservissement, manip du moteur ou de la lampe et lien avec le quotidien, permet de suivre une consigne. Rapidité, précision, stabilité. On va commencer par étudier en détail un système bouclé stable.

I – Boucle à verrouillage de phase

Bien expliquer le principe, notamment le caractère bouclé (asservissement de la phase du signal de sortie sur celle du signal d'entrée...), utilité en démodulation. La chaîne de rétroaction est constituée par un oscillateur contrôlé en tension (VCO) dont la fréquence de sortie dépend de la tension d'entrée. Décrire montage et rôles composants (chaîne directe, comparateur, VCO). Faire varier fréquence d'entrée et montrer que c'est suivi (verrouillage). Choisir doucement plages. Tracer Δf_v en fonction du gain de GBF3 (rétroaction). Plages de verrouillage et de capture. Sélectivité du filtre diminue plage de capture mais c'est ce dont on a besoin en démodulation.

II – Oscillateur à pont de Wien

Maintenant on veut générer des oscillations : caractère instable. Condition d'oscillations, critère de Barkhausen, FFT pour montrer oscillations quasi-sinusoidales, facteur de qualité, ajustement du démarrage $v(t) = Ae^{-\alpha\omega_0 t} \sin(\sqrt{1-\alpha^2}\omega_0 t + \varphi)$, $\alpha = 1 - \frac{R_2}{2R_1}$, $\omega_0 = \frac{1}{RC}$, stabilité.

III – Oscillateur à quartz

Comparaison stabilité. Bien meilleur facteur de qualité, seuil d'oscillation et fréquence varient très peu.

Conclusion : les systèmes avec boucle de rétroaction permettent d'assurer le suivi d'une consigne suivant différents critères, on parle alors d'asservissement (régulation moteur, éclairage, température, pilote automatique). Boucler un système de manière instable peut donner naissance à des oscillations (effet Larsen non souhaité ou exemples hors électronique).

28. Instabilités et phénomènes non-linéaires.

Biblio : poly (physique non-linéaire, systèmes bouclés), Quaranta, Krob

Matériel : pendule, niveau, elastica, masses, oscillos, multimètre, LCR-mètre, boîtes de résistances et de capacités, AO, alimentations, câbles.

Intro : l'enseignement de la physique a lieu majoritairement dans le cadre de l'approximation linéaire, la plupart des phénomènes fondamentaux sont linéaires (Maxwell, Schrödinger) mais certains ne le sont que dans le cas de petites perturbations, notamment en mécanique et c'est ce qu'on va observer expérimentalement. Non-linéarité ici : apparition de fréquences de réponse différentes de celle d'excitation.

I – Non-linéarité d'un pendule

Différence entre formule aux petits angles et formule de Borda, ajustement éventuellement à l'ordre 4, FFT si on veut montrer les harmoniques. La période dépend de l'amplitude, non-linéarité car équation pas linéaire.

II – Instabilité d'une barrette d'acier

On avait apparition de nouveaux phénomènes comme des harmoniques mais pas de comportement radicalement différent. Maintenant la réponse change vraiment selon le régime et on a une bifurcation (tracer fourche) car nouvelles positions d'équilibre, la position initiale est devenue instable pour une valeur critique d'un paramètre. Masse critique et instabilité, brisure de symétrie, ralentissement critique.

III – Oscillateur à pont de Wien

On peut mettre à profit les instabilités pour faire naître des oscillations. Caractère instable d'un système bouclé. Condition d'oscillations, critère de Barkhausen, FFT pour montrer oscillations quasi-sinusoidales puis de relaxation, rôle des instabilités et non-linéarités, ajustement du démarrage $v(t) = Ae^{-\alpha\omega_0 t} \sin(\sqrt{1-\alpha^2}\omega_0 t + \varphi)$, $\alpha = 1 - \frac{R_2}{2R_1}$, $\omega_0 = \frac{1}{RC}$.

Conclusion : manifestations des non-linéarités (apparitions de fréquences, positions d'équilibre stables ou instables, doublement de période, saturation, transition vers le chaos) et applications.

29. Ondes : propagation et conditions aux limites.

Biblio : poly (ondes I et II), HPrepa ondes

Matériel : cuve à ondes, eau distillée, générateur, oscillo, pied à coulisse, alcool, coax de 100m avec potentiomètre, LCR-mètre, oscillos, piezos, banc avec supports, tuyau, 2 GBF, câbles.

Intro : une onde progressive est la propagation d'une d'une perturbation sans transport de matière, c'est un des phénomènes les plus universels en physique et on va étudier des ondes mécaniques et électromagnétiques, libres ou non.

I – Propagation libre d'ondes de surface

Propagation libre et dispersive. Mettre assez d'eau permutee ($th(kh)=1$), bien nettoyer, mesurer grandissement, ajustement $\omega^2 = th(kh)(gk + \frac{\gamma}{\rho}k^3)$, mesure de la tension superficielle.

II – Propagation d'ondes acoustiques

Autre type d'ondes mécaniques mais pouvant se propager dans l'air. Propagation libre (en $1/r$) comme avant, mais non dispersive, mesure de la vitesse du son. Propagation guidée, différents modes, impulsions avec GBF moderne, dispersion effective due au guidage. Attention aux distances.

III – Propagation dans un câble coaxial

Conditions aux limites vues précédemment induisent un guidage et ça marche aussi pour les OEM. Ici c'est dispersif, mesure vitesse de propagation et impédance (on peut faire un ajustement), bien expliquer la notion.

Conclusion : différentes propagations et concept d'impédance, conditions aux limites impliquent d'autres comportements ondulatoires comme les interférences et la diffraction, notamment des ondes lumineuses.

30. Acoustique.

Biblio : poly (ondes I et II), Fruchart

Matériel : 3 GBF, 4 oscillos, ampli, 2 diapasons, masselotte, micro, noyaux de fer doux, bobines, potence, noix, pince, cristallisoir, élévateur, piezos, manip Doppler, multiplicateur, alimentation, boîtes de résistances et de capacités, banc avec supports, tuyau, multimètre, thermocouple, câbles.

Intro : étude de production, propagation et détection d'ondes acoustiques, c'est-à-dire de pression, notamment sonores, études très anciennes puisque dès l'antiquité on s'y intéressait pour les théâtres (réflexions, détections). On va s'intéresser à ces 3 aspects.

I – Production d'une note de musique

Fréquence très précise, on peut s'en servir pour accorder. Courbe de résonance au multimètre en attendant bien, ajustement. Changement de résonance avec masse ou frottements en suspendant un diapason dans l'eau, battements, voir BUP.

II – Propagation des ultrasons

Une fois produite, l'onde se propage (on se base encore sur la résonance), mais ici elle n'est plus audible, d'ailleurs c'est moins parasité par nous et ça nous embête moins. Propagation libre et mesure de la vitesse du son (équation d'onde et célérité), contrôler température, puis propagation guidée et différents modes, attention aux distances, ça se propageait en $1/r$ mais maintenant on a des conditions aux limites qui viennent nous aider.

III – Effet Doppler acoustique

Se servir de la détection pour mesurer une vitesse. Détection synchrone pour avoir la différence de fréquence et se servir de notre mesure de célérité si elle est correcte.

Conclusion : on peut étudier la propagation dans d'autres milieux, applications à l'échographie, aux radars et à la musique bien sûr. Avoir en tête qu'on a des grandeurs couplées.

31. Résonance.

Biblio : poly (résonance, ondes I), Duffait

Matériel : 3 GBF, ampli, 3 oscillos, 2 multimètres, LCR-mètre, micro, élévateur, boîtes de résistances/capacités/inductances, 2 diapasons, masselotte, noyaux de fer doux, bobines, potence, noix, pince, cristallisoir, câbles.

Intro : maximum de l'amplitude d'une réponse à une excitation, présente dans plein de domaines, notamment électrique et mécanique.

I – Résonance du circuit RLC série

Résonance en intensité : tension aux bornes de la résistance. Mise en évidence résonance, mesure de f_0 , diagramme de Bode sous Interface pour obtenir f_0 et Q par ajustement. Environ 0.1H et 100nF à mesurer précisément comme la résistance de la bobine. Différents régimes.

II – Résonance du diapason

Résonances en mécaniques bien connues... Ici régime libre très long, grand facteur de qualité courbe de résonance au multimètre en attendant bien, ajustement, commentaires sur Q et transitoire, non-linéarité en excitant à 440. Changement de résonance avec masse ou frottements en suspendant un diapason dans l'eau (le régime libre dure alors plus longtemps), voir BUP.

III – Couplage de diapasons

Excitation par un autre possible ou non selon fréquence de résonance.

Conclusion : résonance dans diverses situations, caractérisée par une fréquence et un facteur de qualité qui ne dépendent que du système et pas de l'excitation, transitoires, exemples du pont, du café, des transitions, de l'IRM, de la balançoire...

32. Couplage des oscillateurs.

Biblio : poly (résonance), Quaranta

Matériel : 2 GBF, 2 oscillos, 2 transformateurs d'isolement, ampli, boîtes de résistances et de capacités, bobines de Helmholtz, interrupteur, pendules avec fils, plaquette LC, câbles.

Intro : oscillateurs, différents types de couplage (élastique-capacitif en x et inertiel-inductif en dx/dt), modes et influence du nombre d'oscillateurs.

I – Couplage de deux pendules

On peut d'abord penser à des oscillateurs mécaniques, couplage élastique de pendules via un fil de torsion. Acquisition LatisPro, 2 modes (pendule unique d'abord ?), battements par ajustement, absence de battements si pendules différents.

II – Couplage de deux circuits RLC

Le couplage était généré par un écart angulaire maintenant on va regarder un couplage inertiel par induction. Mesure de M en fonction de la distance avec montage simple. Influence du couplage avec les deux circuits $L(R)C$ avec fréquences propres égales, deux fréquences de résonance dont la différence dépend de la distance, 2 modes.

III – Chaîne d'oscillateurs couplés

Plus grand nombre de degrés de liberté donc plus de modes, couplage élastique par condensateurs. Notice plaquette, on peut faire une FFT ou un ajustement.

Conclusion : apparition de modes dont les fréquences dépendent du couplage, plus on augmente les dl plus on voit apparaître de modes, résonance, applications.

33. Régimes transitoires.

Biblio : poly (photorécepteurs, systèmes bouclés, thermométrie), Sextant, Duffait, Fruchart

Matériel : GBF, oscillo, boîtes de résistances et de capacités, AO, alimentations, multimètre, LCR-mètre, manip conduction thermique cuivre, câbles.

Intro : passage entre deux régimes stationnaires, dans différents domaines, avec différentes échelles de temps et pas forcément vers un état d'équilibre.

I – Diffusion thermique dans un barreau de cuivre

Régime transitoire lent à partir d'une situation hors équilibre. Ajustement des températures prises pendant environ L^2/D mais on peut aussi mesurer la conductivité : $RI^2 = P = \frac{\lambda \Delta TS}{L}$, en fait on surestime λ car pertes thermiques.

II – Temps de réponse d'une thermopile

Pour un capteur, on a besoin de régimes beaucoup plus courts pour pouvoir suivre les variations de la grandeur étudiée. Cette fois l'équilibre thermique arrive rapidement.

III – Naissance d'oscillations dans un système bouclé instable

Oscillateur à pont de Wien. On peut mettre à profit des instabilités pour faire naître des oscillations (le système quitte son état de repos spontanément), on arrive alors vers un régime oscillant fixé par les non-linéarités du système. Condition d'oscillations, critère de Barkhausen, ajustement du démarrage $v(t) = Ae^{-\alpha\omega_0 t} \sin(\sqrt{1-\alpha^2}\omega_0 t + \varphi)$, $\alpha = 1 - \frac{R_2}{2R_1}$, $\omega_0 = \frac{1}{RC}$.

Conclusion : régimes transitoires en thermodynamique (dans un métal ou un récepteur) et en électricité, mais il y en a partout en physique notamment en mécanique avec les oscillations amorties et ses différents régimes par exemple. Différentes échelles de temps.

34. Phénomènes de transport.

Biblio : poly (thermométrie), Kittel

Matériel : manip corps noir (four, thermocouple, thermopile, millivoltmètre), cuivre pour conductions thermique et électrique, bain thermostaté, barreau aimanté, agitateur magnétique chauffant, alimentation, thermocouples, multimètres 4 points, oscillo.

Intro : définition, 3 classes de transports, convection (déplacement macroscopique de matière transportant la grandeur extensive d'intérêt), diffusion (transport mésoscopique de proche en proche), rayonnement (transport d'énergie par OEM), grandeurs associées.

I – Rayonnement du corps noir

Principe rayonnement et pyrométrie optique. Bien faire chauffer et mesures en descente de température, ajustement pour retrouver l'exposant 4.

II – Diffusion dans les métaux

Encore sans transport de matière, mais avec milieu matériel cette fois, la conduction c'est de la diffusion en régime stationnaire.

- 1) Conductivité électrique (propriété essentielle des métaux) du cuivre avec bobine dans eau, mesure 4 points, différentes températures en descente, thermocouple ou résistance Pt, mesure de la résistance (augmente avec T) peut servir à la thermométrie.
- 2) On a fait un lien entre conductivité et température, également propriétés thermiques importantes. $RI^2 = P = \frac{\lambda \Delta TS}{L}$. Temps régime permanent environ L^2/D (en fait on surestime λ car pertes thermiques et notamment par rayonnement). Wiedemann-Franz.

Conclusion : manip convection, diversité des comportements et des objets en jeu.

35. Moteurs

Biblio : poly (moteurs, cours Jeremy), Niard

Matériel : Stirling, balance, oscillo, manomètre différentiel, alcool, moteur asynchrone avec boîtier, wattmètre et multimètres, moteur à courant continu, alimentation stabilisée, câbles.

Intro : un moteur est une machine qui convertit une énergie primaire en énergie mécanique de rotation, on peut étudier différentes caractéristiques, comme le rendement, le couple ou la vitesse. La source d'énergie peut être électrique, comme pour les moteurs à courant continu ou alternatif utilisés dans les transports en communs et les objets du quotidien ou chimique, comme pour les moteurs thermiques des voitures.

I – Moteur de Stirling

Description du cycle thermo idéal, fonctionnement du moteur. Puissance fournie dépend de la masse d'alcool brûlé. Tracé cycle pour puissance utile (1W d'après constructeur), Interface, intégration qtiPlot, différence de masse, chronomètre. $P_f = \frac{\Delta m \Delta combH(\text{éthanol})}{\Delta t}$ avec $\Delta combH(\text{éthanol}) = 25 \text{ kJ.g}^{-1}$, $\eta = \frac{P_u}{P_f}$ environ 0.2%, comparaison rendement Carnot ou Stirling idéal (mieux). Avantages du moteur de Stirling, mais essence mieux.

II – Moteur à courant continu

Moteur thermique dans les voitures mais il faut les lancer : MCC. Description, constante de couplage électromécanique K : $U = K\Omega + RI, \Gamma = KI$, unités.

III – Moteur asynchrone

Avantage courant alternatif. Description moteur et différents éléments, alimentation triphasée. Courbe de fonctionnement et rendement maximal. Comparaison avec valeurs fournies.

Conclusion : Bien meilleur rendement mais moteurs thermiques très utilisés. Différents types de moteurs et avantages/inconvénients, comparaison rendements quotidiens.