
Répertoire

Mécanique

LP 01 - Contact entre deux solides. Frottement.

- Description d'un contact, vitesse de glissement
- Loi d'Amontons-Coulomb, aspects microscopiques
- Solide sur plan incliné, décompte d'équations, mesure de coefficient de frottement, cône de frottement.
- Méthode de résolution, formulation d'hypothèses.
- Aspect énergétique des contacts
- Collé-glissé, résolution analytique, numérique avec portrait de phase.

LP 02 - Gravitation

- Approche historique de la force gravitationnelle
- Orbites elliptiques avec l'invariant de Runge-Lenz
- 3e loi de Kepler et applications
- Structure du champ gravitationnel et analogie électrostatique
- Théorème de Gauss à un problème en symétrie sphérique
- Equation de Poisson et structure verticale des galaxies spirales
- Vitesse orbitale, courbe de rotation, matière noire

LP 03 - Caractère non galiléen du référentiel terrestre

- Notion de référentiel galiléen
- PFD dans un référentiel non-galiléen
- Phénomène de marées, illustration numérique
- Force centrifuge et pesanteur
- Force de Coriolis et pendule de Foucault
- Ecoulement géostrophique

LP 05 - Lois de conservation en dynamique.

- Problème de choc avec les équations de conservation
- Conservation du moment cinétique : loi des aires, le patineur en rotation, allongement de la distance Terre-Lune
- Problème de Kepler : résolution complète
- Théorème de Noether

Relativité restreinte

LP 06 - Cinématique relativiste

- L'éther et l'expérience de Fizeau
- Postulat d'Einstein, notion d'événement, transformations de Lorentz
- Conséquences cinématiques : perte de simultanéité, composition des vitesses, dilatation des temps et contraction des longueurs
- Effet Doppler relativiste

LP 07 - Dynamique relativiste

- Quadrivecteur énergie - impulsion
- Collisions élastiques : Effet Compton
- Collisions inélastiques : effet de seuil
- PFD relativiste
- Particule dans un champ électrique constant : expérience de Bertozzi
- Accélérateurs de particules : cyclotron, synchro-cyclotron, synchrotron

Mécanique des fluides

LP 08 - Notion de viscosité d'un fluide. Écoulements visqueux.

- Loi de Newton pour la force de viscosité
- Viscosité et diffusion de quantité de mouvement
- Approche microscopique de la viscosité : coefficient de transport avec la théorie cinétique des gaz
- Nombre de Reynolds, forme adimensionnée de l'équation de Navier-Stokes
- Écoulement en fonction du nombre de Reynolds
- Couche limite
- Écoulement de Couette plan
- Viscosimètre de Couette

LP 09 - Modèle de l'écoulement parfait d'un fluide

- Modèle de l'écoulement parfait, domaine de validité, notion de couche limite
- Effet Coanda
- Théorème de Bernoulli, interprétation énergétique avec un bilan en écoulement
- Application du théorème de Bernoulli : effet Venturi
- Effet Magnus

LP 10 - Phénomènes interfaciaux impliquant des fluides.

- Notion de tension de surface : approche mécanique, thermodynamique et interprétation microscopique
- Compétition avec la gravité : longueur capillaire
- Mouillage et loi de Young-Dupré
- Loi de Laplace et mûrissement d'Ostwald
- Ascension capillaire et loi de Jurin
- Nucléation homogène, chambre à brouillard
- Instabilité de Rayleigh-Plateau
- Ondes gravito-capillaire : relation de dispersion, régimes limites, interprétations des deux successions d'ondes

Thermodynamique et physique statistique

LP 11 - Gaz réels, gaz parfait.

- Approche phénoménologique du gaz parfait, diagramme d'Amagat
- Hypothèses microscopiques du gaz parfait
- Pression cinétique
- Loi du gaz parfait à partir de la pression cinétique et de la température cinétique
- Propriétés thermodynamiques du gaz parfait monoatomique et diatomique
- Examen des hypothèses du gaz parfait : particules ponctuelles, interactions, effets quantiques
- Equation d'état de Van der Waals : justification des corrections, transition de phase et limites au point critique

LP 12 - Premier principe de la thermodynamique

- Energie interne
- Modes de transfert d'énergie : travail et chaleur
- Détente de Joule-Gay Lussac, détente de Joule-Thomson
- Etude d'un réfrigérateur
- Calorimétrie

LP 13 - Évolution et condition d'équilibre d'un système thermodynamique fermé.

- Notion de potentiel thermodynamique
- Choix du bon potentiel thermodynamique
- Approche de Landau de la transition ferromagnétique-paramagnétique
- Travail maximum récupérable - bouteille d'air comprimé
- Applications : nucléation homogène, loi de Laplace

LP 14 - Machines thermiques réelles

- Diagramme de Raveau
- Cycle de Carnot, bornes sur le rendement et le COP
- Réfrigérateur
- Moteur à essence et cycle Beau de Rochas, cycle diesel

LP 15 - Transitions de phase

- Isothermes de Van der Waals, correction, transition de phase
- Transition ferromagnétique-paramagnétique avec l'approche de Landau
- Classification d'Ehrenfest et de Landau
- Exposants critiques et universalité

LP 16 - Facteur de Boltzmann

- Modèle de l'atmosphère isotherme
- Ensemble canonique et statistique de Boltzmann

LP 17 - Rayonnement d'équilibre thermique. Corps noir.

- Flux incident, partant, absorbé, réfléchi
- Equilibre thermique
- Loi de Planck, Wien, Stefan avec applications
- Notion de corps noir
- Application à la température de la Terre et l'effet de serre

LP 18 - Phénomènes de transport

- Loi de conservation et équation de transport de particules
- Equation de diffusion et propriétés
- Analogie et différence entre les phénomènes de diffusion
- Transport électronique et thermique dans les métaux : loi de Wiedemann-Franz
- Convection et critère de Schwarzschild
- Double diffusion et doigts de sel

LP 19 - Bilans thermiques : flux conductifs, convectifs et radiatifs.

- Rayonnement : température de la terre et effet de serre
- Diffusion thermique en régime stationnaire, résistance thermique
- Loi de Newton de la conducto-convection, résistance thermique
- Modélisation d'un chauffe-eau solaire

LP 44 - Capacités thermiques : description, interprétations microscopiques

- Description thermodynamique de la capacité calorifique
- **Système à deux niveaux**, interprétation en physique statistique
- **Théorème d'équipartition de l'énergie**
- **Capacité calorifique des gaz parfaits, cas mono et diatomique**
- **Capacité calorifique des solides : loi de Dulong et Petit, modèle de Einstein, modèle de Debye**

Electromagnétisme

LP 20 - Conversion de puissance électromécanique.

- Rails de Laplace moteur et générateur
- Bilan de puissance et relation fondamentale de la conversion de puissance électromécanique
- Machine à courant continu
- Machines alternatives : machine synchrone et asynchrone

LP 21 - Induction électromagnétique

- Modélisation électrocinétique, loi d'Ohm généralisée, loi de Faraday
- Auto-inductance
- Transformateur parfait
- Courants de Foucault : lois d'échelle, chauffe par induction, freinage

LP 30 - Rayonnement dipolaire électrique

- Rayonnement d'un dipôle oscillant, zone de rayonnement, diagramme de rayonnement
- Antennes
- Diffusion du rayonnement : régimes de diffusion, chromaticité de la diffusion, polarisation par chromaticité

LP 45 - Paramagnétisme, ferromagnétisme : approximation du champ moyen

- Phénoménologie du magnétisme : para, dia et ferromagnétisme
- Description semi-classique du magnétisme, modèle de Bohr
- Description quantique du magnétisme
- Paramagnétisme : modèle statistique et loi de Curie, désaimantation adiabatique
- Ferromagnétisme : interaction d'échange, Hamiltonien de Heisenberg, champ moyen

LP 46 - Propriétés macroscopiques des corps ferromagnétiques

- Rappels sur les équations de Maxwell dans le milieu aimanté, relation constitutive
- Canalisation des lignes de champ, analogie électrocinétique, application : électroaimants
- Hystérésis ferromagnétique, aspect énergétique, domaines de Weiss
- Applications : transformateur, disques durs, paléomagnétisme

Signal et électronique

LP 22 - Rétroaction et oscillations

- Fonction de transfert d'un système bouclé
- Etude de l'amplificateur non-inverseur
- Oscillateurs quasi-sinusoidaux, stabilité, condition de Barkhausen
- Le LASER comme système bouclé
- Oscillateur de Wien, effet des non-linéarités

LP 23 - Aspects analogique et numérique du traitement d'un signal. Étude spectrale.

- Notion de spectre
- Effet de l'échantillonnage : critère de Shannon
- Transformée de Fourier discrète
- Interprétation spectrale du filtrage linéaire
- Détection synchrone : modulation et filtre passe-bas
- Bonus : CAN simple rampe

Ondes

LP 24 - Ondes progressives, ondes stationnaires.

- Propagation dans un câble coaxial
- Propagation dans une corde sans raideur
- Equation de d'Alembert, solutions, ondes progressives
- Bilan d'énergie
- Ondes stationnaires : régime libre de la corde de Melde, régime forcé et résonance

LP 25 - Ondes acoustiques.

- Equation de d'Almebert dans l'hypothèse d'adiabaticité
- Propriétés : structure de l'onde, impédance, énergie
- Intensité sonore
- Interfaces : relations de passage
- Modes propres d'une cavité : application aux instruments de musique

LP 26 - Propagation avec dispersion.

- Propagation dans un plasma, relation de dispersion.
- Application à la ionosphère
- Paquet d'onde et évolution : vitesse de phase, groupe, étalement
- Câble coaxial avec pertes
- Ondes gravito-capillaires

LP 27 - Propagation guidée des ondes.

- Approche géométrique de la fibre optique
- Approche électromagnétique de la fibre optique, effet du confinement, mode TE, TM, TEM
- Dispersion inter/intramodale et aspect énergétique
- Câble coaxial : mode TEM

LP 28 - Ondes électromagnétiques dans les milieux diélectriques.

- Rappel sur les milieux diélectriques LHI
- Equation de propagation, relation de dispersion
- Modèle de l'électron élastiquement lié
- Dispersion : loi de Cauchy
- Absorption : micro-ondes, verres anti-UV, couche d'ozone, effet de serre
- Interfaces : lois de Descartes, couches anti-reflet, miroirs de Bragg

LP 29 - Ondes électromagnétiques dans les milieux conducteurs.

- Electroneutralité d'un conducteur
- ARQS dans les métaux
- Propagation dans les métaux à basse fréquence : équation de diffusion, effet de peau, application à la conduction dans un fil de cuivre
- Propagation dans les métaux à haute fréquence/dans un plasma : transparence, réflexion, application à la ionosphère

Optique

LP 31 - Présentation de l'optique géométrique à l'aide du principe de Fermat.

- Enoncé du principe de Fermat
- Lois de l'optique géométrique : propagation rectiligne, retour inverse, lois de Snell-Descartes
- Equation eikonale
- Analogie mécanique de l'équation eikonale
- Mirages
- Fibre optique à gradient d'indice, résolution

LP 32 - Microscopies optiques.

- Microscope à deux lentilles : profondeur de champ, aberrations
- Limite de diffraction, critère de Rayleigh
- Microscopie de fluorescence : microscope confocal, superrésolution PALM
- Microscopie de champ proche : STOM
- Strioscopie, microscopie à contraste de phase

LP 33 - Interférences à deux ondes en optique.

- Condition d'interférences
- Fentes de Young
- Cohérence spatiale
- Cohérence temporelle

LP 34 - Interférométrie à division d'amplitude.

- Critère de non-brouillage et théorème de localisation
- Interféromètre de Michelson : lame d'air, coin d'air
- Spectroscopie du doublet du sodium par battements en lame d'air
- Interféromètre de Fabry-Pérot : finesse, application en spectroscopie, généralisation aux lames minces

LP 35 - Diffraction de Fraunhofer.

- Conditions de Fraunhofer, réalisations concrètes
- Propriétés de la figure : cas d'une fente, lien avec les propriétés mathématiques de la TF
- Application : critère de Rayleigh
- Optique de Fourier : expérience d'Abbe, filtrage spatial, strioscopie, contraste de phase

LP 36 - Diffraction par des structures périodiques.

- Facteur de forme, facteur de structure
- Etude du réseau, application en spectroscopie
- Diffraction en cristallographie : nature du rayonnement, condition de Von Laue, étude de la figure de diffraction du cuivre cfc

Physique quantique

LP 37 - Absorption et émission de la lumière.

- Processus élémentaires : absorption, émission spontanée, émission stimulée
- Lien entre les processus, cas de l'équilibre thermodynamique
- Largeur de raie
- **Le laser** : principe, laser à 3 niveaux, application au refroidissement Doppler

LP 38 -Aspects corpusculaires du rayonnement. Notion de photon.

- Effet photoélectrique
- Insécabilité du photon, antibunching et expérience HBT
- Carte d'identité du photon : masse, vitesse, énergie, impulsion à partir de l'électromagnétisme classique, moment cinétique
- **Refroidissement Doppler**, mélasse optique et piège magnéto-optique

LP 39 - Aspects ondulatoires de la matière. Notion de fonction d'onde.

- Expérience de Davisson et Germer
- **Expérience de Debye et Scherrer**, diffraction d'électrons sur graphite
- Notion de fonction d'onde
- Equation de Schrodinger
- Paquet d'onde, inégalité de Heisenberg

LP 40 - Confinement d'une particule et quantification de l'énergie.

- Raies discrètes
- Expérience de Franck et Hertz
- Puits infini
- **Analogie avec la corde de Melde**
- Puits fini
- Ions colorés
- Atome d'hydrogène

LP 41 - Effet tunnel.

- Coefficient de transmission à travers une barrière tunnel
- **Radioactivité α** , approximation BKW
- **Microscope à effet tunnel**

LP 42 - Fusion, fission.

- Description du noyau, énergie de liaison
- Modèle de la goutte liquide
- Fission : barrière de fission, application à l'énergie nucléaire
- Fusion : barrière de fusion, modes de confinement, critère de Lawson

LP 43 - Évolution temporelle d'un système quantique à deux niveaux

- Evolution libre : inversion de la molécule d'ammoniac, effet du couplage tunnel
- Couplage avec un champ électrique statique
- Oscillations de Rabi, résonance
- Horloges atomiques, franges par interférométrie de Ramsey

Transversal

LP 04 - Précession dans les domaines macroscopique et microscopique

- Angles d'Euler
- Approximation gyroscopique
- Etude de la toupie dans l'approximation gyroscopique
- Gyroscopie : propriété fondamentale, effet d'un déséquilibre, couple gyroscopique, applications
- Précession des équinoxes
- Proportionnalité entre le moment cinétique et le moment magnétique en mécanique quantique
- Précession de Larmor
- RMN en approche classique

LP 47 - Mécanismes de la conduction électrique dans les solides

- Modèle de Drude, succès et limites
- Modèle de Sommerfeld, succès et limites
- Théorie des bandes

LP 48 - Phénomènes de résonance dans différents domaines de la physique.

- Résonance de l'oscillateur amorti : circuit RLC, oscillateur mécanique, facteur de qualité, acuité de la résonance, aspect énergétique
- Résonance en cavité : *corde de Melde revisitée*, cavité Fabry-Pérot
- Résonance dans le domaine microscopique : oscillations de Rabi en RMN/Maser, modèle de l'électron élastiquement lié
- *Oscillateurs couplés : deux pendules ou couplage capacitif/inductif*

LP 49 - Oscillateurs ; portraits de phase et non-linéarités.

- Portrait de phase de l'OH, du pendule amorti, du pendule NL
- Pendule NL : perte d'isochronisme, enrichissement spectral
- Double puits de potentiel
- La clarinette de Rayleigh : cycle limite
- Oscillateur de Van der Pol : approche numérique
- Oscillateur de Van der Pol : régime faiblement non linéaire, approche énergétique
- Oscillateur de Van der Pol : régime fortement non linéaire : oscillations de relaxation, calcul de période.