



Laser Optics Matter (LOM)

ELECTIVE COURSES

Academic Year 2016-2017

(Period jan.-febr. 2017)

Table of Contents (clic on your choice)

- Advanced Photonics
- Biophotonics
- Fonctions et intégration photonique
- Fibres optiques avancées
- Optique de l'extrême
- Near Field Microscopy
- Technologie des Lasers
- Manipulation de systèmes quantiques simples
- Atomes ultrafroids et simulateurs quantiques
- Quantum communication
- Structure moléculaire et transitions optiques
- Dynamique réactionnelle photo-induite
- Dynamique quantique des systèmes de plusieurs corps
- Impulsions optiques ultra-brèves
- Plasma Physics
- Optics Labworks 2

Course code:	Advanced Photonics	Semester 1
Contributes to:	M2 Laser-Optics-Matter	

Course director:	Henri Benisty (IOGS)	
Course teachers :	Henri BENISTY, Robert KUSZELEWICZ (Paris 5), Ariel LEVENSON (LPN, CNRS), Giuseppe LEO (Paris 7, MPQ)	
Volume:	30 Hours CM : 25,5 hours TD : 4,5 hours	3 ects
Assessment:	Oral examination on the basis of the analysis of dedicated scientific papers, with a whole 3h devoted to preparation by prepared short talks given/asked by binoms.	
Language of tuition:	English only	

Course Objectives:

The Objective of this course is to show how semiconductors and their peculiarities such as excitons or intersubband transitions intervene in novel frontiers of photonics : nonlinear optical signal processing, and quantum structures such as quantum cascade lasers.

Course prerequisites: Basics of laser diode (Fabry-perot), gain media, electro-optic media, basis of optical telecommunications (fibres, modes of fibres, transmission rates).

Book --> "Fundamentals of Photonics" de B.A. Saleh & M.C. Teich (Wiley) (2nd Ed : 2007)

Syllabus

1) Wave coupling, semiconductor emblematic devices (H. Benisty) (6h) :

Description of wave coupling and of semi-conductors and quantum wells.;
Study as a general basis of the application of these concepts onto some emblematic devices (QW laser,DFB, VCSEL,QD laser)

2) Semiconductor linear properties of basic and advanced structures (A. Levenson, R. Kuszelewicz)

Electronic & optical properties of quantum well
Electronic & optical properties of wires and quantum dots
Fabrication and technologies
Periodical structures : optical properties

3) Nonlinear optics of semiconductors : phenomena & applications (A. Levenson, R. Kuszelewicz)

Intrinsic versus dynamical nonlinearities
Second order intrinsic nonlinearities
Nonlinear effects in vertical cavity systems
Nonlinear effects governed by the dynamics of material excitations
Spatio-temporal effects and NLO
Second Harmonic Generation, and other second order NL applications
Nonlinear Photonic Crystals
Spatial solitons and applications to all optical logic

4)Quantum semiconductor structures (G. Leo)

Based on low-dimensional physics of electrons and photons, we will underline the possibilities gained from band engineering to exploit intraband transitions from THz to mid infrared les transitions intrabandes entre les THz et l'infrarouge moyen ;
Two emblematic devices based on intersubband transitions will be outlined ; QWIP detectors and quantum cascade lasers, of high interest for molecule sensing, etc.
A more prospective course will be dedicated to integrated single photon sources or twin photons, for quantum optics and cryptography applications.

On completion of the course students should be able to: grasp which phenomena are involved when a publication concerns nonlinear photonics with semiconductors, understand the reasons why geometries and dimensionalities are carefully exploited and leveraged in large classes of such devices to improve their performances. Understand why in some cases it is even necessary just to have those devices working.

Textbooks/bibliography:

- « *The principles of nonlinear optics* », Y.R. Shen (Wiley-Interscience) ;
- « *Wave Mechanics applied to semiconductor heterostructures* », G.Bastard (Springer)
- « *Quantum semiconductor Structures : Fundamentals and application* », C. Weisbuch and B. Vinter (Academic Press);
- « *Optoélectronique* » E. Rosencher and B. Vinter, Paris: Masson, 1997.

Course code:	Biophotonics	Semester 1
Contributes to:	M2 Laser-Optics-Matter	

Course director:	A. Dubois (Lab. Charles Fabry, IOGS)	
Course teachers :	E. Beaufepaire (Lab. d'Optique et Biosciences, Ecole Polytechnique), H. Benisty (Lab. Charles Fabry, IOGS), C. Bouzigues (Lab. d'Optique et Biosciences, Ecole Polytechnique), A. Dubois (Lab. Charles Fabry, IOGS), N. Westbrook (Lab. Charles Fabry, IOGS)	
Volume:	30 Hours CM : 27h TP/ visits : 3h	3 ects
Assessment:	Written exam	
Language of tuition:	English or French	

Course Objectives:

To give insights into modern research trends in biophotonics. To provide in particular an overview of the various optical techniques available for biomedical imaging and detection, giving their characteristics and highlighting their advantages and drawbacks.

Course prerequisites: Basics of ray optics, wave optics, electromagnetism, nonlinear optics and quantum mechanics. Basics of biochemistry. Basics of DNA and proteins.

Syllabus

- INTRODUCTION TO OPTICAL IMAGING OF BIOLOGICAL MEDIA

- INTRODUCTION TO CELL BIOLOGY

Cellular components, DNA, RNA, proteins.

- OPTICAL MICROSCOPY

Fluorescence microscopy, confocal microscopy. Full-field imaging techniques. Organic/inorganic fluorophores.

- FLUORESCENCE TECHNIQUES

Single-molecule tracking, Fluorescence Recovery After Photobleaching (FRAP), Fluorescence Correlation and Cross-Correlation (FCS, FCCS), Fluorescence lifetime imaging (FLIM), Fluorescence Resonant Energy Transfer (FRET).

- SUPER-RESOLUTION IMAGING

Total Internal Reflection Fluorescence microscopy (TIRF), 4π microscopy, Stimulated Emission Depletion microscopy (STED), Stochastic Optical Reconstruction Microscopy (STORM), PhotoActivated Localization Microscopy (PALM).

- OPTICAL TWEEZERS

Single molecule manipulation.

- DNA and PROTEIN MICRO-ARRAYS

Readout techniques: fluorescence and Surface Plasmon Resonance, Biochip specifications and realizations, Data processing and interpretation.

- NON-LINEAR MICROSCOPY

Two-photon excitation fluorescence microscopy,
Harmonic generation microscopy;
Coherent Anti-Stokes Raman Scattering (CARS) microscopy.

- OPTICAL COHERENCE TOMOGRAPHY

Time-domain / frequency-domain OCT. Applications.

On completion of the course students should be able to: have knowledge of most optical techniques available for imaging and detection in the fields of biology and medicine. The general principles and typical performance of these techniques should be known.

Textbooks/bibliography:

- P. N. Prasad, *Introduction to Biophotonics*, Wiley, 2003
- J. R. Lakowicz, *Principles of fluorescence spectroscopy*, 3rd edition, Springer, 2006
- J. Mertz, *Introduction to optical microscopy*, Roberts & Co. Publishers, 2009
- M. Müller, *Introduction to Confocal Fluorescence Microscopy*, SPIE Press, 2006
- R. Rigler, H. Vogel (eds.), *Single molecules and Nanotechnology*, Springer, 2008
- P. Selvin, T. Ha (eds.), *Single-Molecule Techniques: A Laboratory Manual*, CSH Lab. Press, 2008
- P. R. Selvin, *Methods in Enzymology*, Vol. 124, Academic Press (1995), p. 300
- W. Drexler, J.G. Fujimoto (eds.), *Optical Coherence Tomography, Technology and Applications*, Springer, 2008

Course code:	Fonctions et intégration photonique	Semester 1
Contributes to:	M2 Laser-Optics-Matter	

Responsable:	Henri BENISTY (IOGS/U-PSUD)	
Enseignants:	Henri BENISTY (IOGS) ; Mme Béatrice Dagens (IEF,CNRS), M. Guang Hua DUAN (III-V Lab), M. Daniel DOLFI (Thales TRT)	
Volume horaire:	30h ; CM 30h + soutien personnalisé sur analyse d'articles	3 ects
Modalités d'évaluation:	Examen à base d'analyse d'un article avec interrogation orale sur son contenu et le contenu du cours en relation avec cet article.	
Langue:	Français	

Objectifs du cours:

Expliciter les principes de fonctionnement et les technologies des dispositifs photoniques semiconducteurs, dans une perspective d'intégration. On s'appuiera d'abord sur un cas mature, les télécoms optiques pour les réseaux actuels puis on verra les tendances émergentes prochainement déployées. On donne dans la fin du cours les méthodes de traitement du signal par voie électro-optique et acousto-optique, telles qu'elles sont utilisées au-delà des télécom en photonique micro-onde et dans les lidars.

Pré-requis: Diode laser de base (Fabry-Perot), milieux à gain et électro-optiques, bases des télécoms optiques (fibres, modes, débit).

→ Ouvrage "Fundamentals of Photonics" de B.A. Saleh & M.C. Teich (Wiley) (2nd Ed : 2007).

Contenu du cours

1) Couplages d'ondes, dispositifs emblématiques (6h, H. Benisty) :

Rappel des descriptions de couplage d'onde et de semi-conducteur. Application de ces concept au travers de dispositifs emblématiques (QW laser,DFB, VCSEL,QD laser).

2) le cycle performance – technologie des composants télécoms (Béatrice Dagens, IEF)

- Détail des composants individuels puis intégrés: Nous considérerons d'abord en détail le cas « élémentaire » du laser à semi-conducteur, pour introduire progressivement les principes physiques sous-jacents à l'ensemble des composants optoélectroniques, leur technologie de fabrication, les principes et les degrés de liberté de leur conception. Cela nous conduira jusqu'à l'intégration des composants en circuits photoniques et les compromise supplémentaires sur la conception liés à l'ensemble de la technologie. Nous aborderons également les autres technologies de composants optoélectroniques (verre, SOI, LiNbO3), et nous évoquerons les circuits photoniques développés pour des applications non télécom (bioplasmonique). Ces bases étant acquises, nous pourrons approfondir la physique du fonctionnement et certains principes de caractérisation des composants phares de l'optoélectronique évoqués au début du cours.

3) Composants télécom et datacom : tendances émergentes : (Guang-Hua DUAN, 3-5Lab)

- On traitera dans cette partie plusieurs tendances observées ces dernières années dans le domaine de télécommunications et de data communication : le multiplexage et le routage en longueur d'onde, les nouveaux formats de modulation et l'intégration photonique sur silicium. Dans la partie multiplexage et routage en longueur d'onde l'accent sera mis sur les sources accordables en longueurs d'onde et la manipulation de la longueur d'onde (filtrage, routage, translation etc.).
- Sur les nouveaux formats de modulation, on détaillera les circuits photoniques utilisant par exemple une combinaison de plusieurs interféromètres Mach-Zehnder. Sur l'intégration photonique sur silicium, on expliquera les différentes briques de base : laser, modulateur, photo-détecteurs, guides passifs sur silicium, etc. On montera plusieurs exemples d'intégration pour les applications en télécommunications et en "data communication".

4) Traitement du signal électro- et acousto-optique, applications micro-ondes et lidar (D.Dolfi -TRT Thales)

- Phénomènes électro et acousto-optiques et applications : biréfringence induite dans les cristaux et les céramiques, opération en espace libre et en guidage de modes, modulateurs pour les télécom, commutation et balayage électro et acousto-optique de faisceaux lasers.
- Propriétés optiques et électro-optiques des cristaux liquides : phases de cristal liquide, tenseurs optiques et électro-optiques, technologies des cellules de cristaux liquides.
- Applications : afficheurs, vannes à lumières, optique non linéaire Comparaisons avec d'autres technologies, application au mélange d'onde dans les matériaux, holographie en volume – matériaux : photoréfractifs, à gain, Diffusion Brillouin stimulée ; application du mélange d'onde à l'amplification d'image et à la conjugaison optique. Applications au traitement du signal, au contrôle de faisceau laser, aux compensations d'effets thermiques.
- Liaisons électro-optiques, des télécoms aux radars. Principales caractéristique d'une liaison (gain, figure de bruit, linéarité, gamme dynamique) : des exigences systèmes à la physique du composant ; Applications au traitement optoélectronique de signaux radars (antennes intelligentes [phased array antennae], filtrage agile, corrélation, analyse spectrale, oscillateurs, horloges ultra-précises) ; Génération photonique et détection de signaux millimétriques (fréquence > micro-onde) et THz ; Principes de base des systèmes lidars.

Compétences attendues à la fin de l'UE: A l'issue du cours, les élèves peuvent identifier au sein des dispositifs de l'optique intégrée courants à l'état de l'art les différentes briques de base, et dans chaque brique (confinement, réseau périodiques, boîtes quantiques), de comprendre pourquoi la valeur en proposée des paramètres a été au final adoptée.

Bibliographie:

- *The principles of nonlinear optics*, Y.R. Shen (Wiley-Interscience)
- *Wave Mechanics applied to semiconductor heterostructures*, G.Bastard (Springer) –
- *Quantum semiconductor Structures : Fundamentals and applications*, C. Weisbuch & B. Vinter (Academic Press)
- H. C. Casey, Jr. and M. B. Panish, « *Heterostructure Lasers* », Academic Press, 1978 –
- G. H. B. Thomson, « *Physics of semiconductor Laser Devices* », John Wiley, 1980
- Govind P. Agrawal, Niloy K. Dutta, « *Semiconductor Lasers* », Van Nostrand Reinhold, 2nd ed. 1993,
- Philippe Brosson, « *Semiconductor lasers and integrated devices* », Les Houches, summer school on « lasers and applications », June 2000.

Course code:	Fibres optiques avancées	Semester 1
Contributes to:	M2 Laser-Optics-Matter	

Responsable:	Henri BENISTY (IOGS/U-PSUD)	
Enseignants:	P. Ferdinand, F. Benabid (XLIM Limoges et Glophotronics), G. Bouwmans (Lille, IRCICA)	
Volume horaire:	24h	3 ects
Modalités d'évaluation:	QCM	
Langue:	Français	

Objectifs du cours:

L'objectif du cours est de familiariser les étudiants avec les avancées expérimentales et conceptuelles survenues depuis 1995 dans le domaine des fibres optiques et de leurs utilisations passive et active en optique non linéaire et laser.

Pré-requis: Bases des télécoms optiques (fibres, modes, débits), base des milieux structurés (notion de bande interdite à 1D), couplage de mode.

Contenu du cours

Capteurs à fibres optiques (9h) (P. Ferdinand)

L'utilisation des fibres comme capteurs conduit à des dispositifs répandus et très versatiles

- avec réseau de Bragg pour le contrôle des déformations,
 - avec biréfringence, ou avec effets magnéto-optiques, pour la détection le long de la fibre de nombreuses quantités physiques extérieures, dont la température par exemple.
- L'utilisation de la sphère de Poincaré est un outil important pour la compréhension des phénomènes. De nombreux exemples pratiques sont donnés.

Fibres microstructurées (6h) (F. Benabid, XLIM Limoges et Glophotronics)

- Les propriétés photoniques remarquables des fibres optiques microstructurées (FMAS Fibres microstructurées Air Silice) dites aussi fibres à cristaux photoniques (PCF : photonic crystal fibers) sont exposées et des applications avancées qui ont déjà connu un grand succès sont présentées :
 - Dispersion remarquable : éternellement monomode par exemple,
 - nonlinéarités faibles et absorption minime dans les fibres à cœur creux,
 - nonlinéarités géantes dans les fibres très confinées.

→ Ce sont les nonlinéarités qui en font les composants de choix actuellement pour la génération de supercontinuum (utilisé pour les « peignes de fréquence » en métrologie, cf. le prix Nobel 2004 de T. Hänsch)

Fibres pour la manipulation et la génération de lumière (6h) (G. Bouwmans, Lille, IRCICA)

- L'utilisation de phénomènes nonlinéaires dans les fibres, couplé à une meilleure maîtrise des formes temporelles des signaux (impulsions, peignes en temps ou en fréquence, ...) a fait fleurir des approches très riches tant sur le plan de la physique (physique non-linéaire) que des applications (lasers, traitement de signaux optiques par découpages spatio-temporelle, sources à cohérence très contrôlée. Ces nouveaux domaines seront expliqués. On montrera alors comment ces possibilités orientent les innovations en cours autour de nouvelles mises en forme de fibres, ou de nouveaux matériaux dans leur composition.

Polycopiés : Notes de cours de P. Ferdinand + Copies des transparents de F. Benabid

Bibliographie:

Capteurs à fibres optiques :

→ « *Capteurs à fibres optiques et réseaux associés* », Pierre Ferdinand (Ed. Lavoisier / Tec & Doc 1999)
Voir aussi le "MRS Bulletin" Volume 27, No. 5, May 2002,

→ Fibres microstructurées : voir le chapitre 11 dans

J.-M. Lourtioz, H. Benisty, V. Berger, J. M. Gérard, D. Maystre, and A. Tcheltnokov, *Photonic Crystals, Towards Nanoscale Photonic Devices*, 2nd ed. Heidelberg: Springer, 2008.

→ *Nonlinear Fiber Optics* (2013, Fifth Edition) A volume in Optics and Photonics , Agrawal, Govind ISBN: 978-0-12-397023-7

Course code:	Optique de l'extrême	Semester 1
Contributes to:	M2 Laser-Optics-Matter	

Responsable:	Sébastien de Rossi	
Enseignants:	Sébastien de Rossi, Charles Bourassin-Bouchet	
Volume horaire:	24h	3 ects
Modalités d'évaluation:	Examen écrit	
Langue:	Français	

Objectifs du cours:

L'objectif de ce module est de faire découvrir aux étudiants la physique et l'optique aux très courtes longueurs d'onde (domaine spectral de l'extrême ultraviolet aux rayons X). On s'intéressera aux problématiques des composants optiques, de l'imagerie, des sources de lumière telles que les synchrotrons, les sources à génération d'harmoniques d'ordre élevé pour la génération d'impulsion attoseconde, les lasers à électrons libres et la physique au temps ultracourt.

Ce domaine est en plein essor au niveau local (Synchrotron SOLEIL, station laser X à Paris Sud, ligne de lumière attoseconde au CEA Saclay, Laser intense APOLLON) et également au niveau international (Lithographie EUV, nouvelles sources laser à électrons libres X-FEL aux USA et en Europe)...

Pré-requis: physique et optique générale.

Contenu du cours

- physique de l'interaction lumière X - matière
- source synchrotron
- optiques et imagerie X
- notion d'optique ultrabrève
- source harmonique et impulsion attoseconde
- laser à électron libre

Compétences attendues à la fin de l'UE:

Avoir une compréhension générale de la physique et de l'optique aux courtes longueurs d'onde et aux temps ultrabrefs.

Bibliographie:

David Attwood, *Soft X-Rays and Extreme Ultraviolet Radiation* (Cambridge University Press)
 Jens Als-Nielsen and Des McMorrow, *Elements of Modern X-ray Physics* (Wiley)

Course code:	Near Field Microscopy	Semester 1
Contributes to:	M2 Laser-Optics-Matter	

Course director:	Yannick De Wilde (Institut Langevin, ESPCI ParisTech) and Samuel Grésillon (Institut Langevin, UPMC)	
Co-teachers :	Rémi Carminati (Institut Langevin, ESPCI ParisTech), Mathieu Kociak (Université Paris-Sud)	
Volume:	CM: 24 Hours	3 ects
Assessment:	Oral exam	
Language of tuition:	English or French	

Course Objectives:

The purpose of the course is to provide a detailed description of scanning probe microscopes and electron microscopes, which are the main instruments required to perform nanoscale imaging of various physical properties, to investigate the world of nanoscience and nanotechnology both in academic and industrial research laboratories. The course describes the instruments and the basic principles on which they rely, and explains their modes of operation with illustrative examples.

Course prerequisites:

A general background in physics is required to follow the course, mostly oriented towards experimental aspects.

Syllabus

- Classical optical microscopy and Scanning electron microscopy.
- Atomic force microscopy (AFM).
- Scanning tunnelling microscopy (STM).
- Theoretical concepts of near-field optics.
- Near-field scanning optical microscopy (NSOM) I : near-field probes.
- Near-field scanning optical microscopy (NSOM) II : active near-field microscopy.
- Near-field scanning optical microscopy (NSOM) III : applications and new trends.
- Seminar and Visit of near-field microscopy installations.

On completion of the course students should be able to:

At the end of the course, the students should have acquired a deep understanding and feel ready to use without apprehension, any of the near-field microscopes described in the course. The latter are the roots of the majority of imaging instruments used in nanoscience, which only differ according to the physical quantities which they probe.

Textbooks/bibliography:

- « *Les nouvelles Microscopies – A la découverte du nanomonde* », L. Aigouy, Y. De Wilde, Ch. Frétygny, EDITIONS BELIN –COLLECTION ECHELLES (2006).
- « *Principles of Nano-Optics* », L. Novotny and B. Hecht, Cambridge University Press (2006).
- « *Near Field Microscopy and Near Field Optics* », D. Courjon, Imperial College Press (2003) (existe aussi en Français).

Course code:	Technologie des Lasers	Semester 1
Contributes to:	M2 Laser-Optics-Matter	

Course director:	Patrick GEORGES (Laboratoire Charles Fabry, Palaiseau)	
Co-teachers :	Arnaud BRIGNON (Thales RT, Palaiseau), Thomas OKSENHENDLER (Iteox, Orsay), Jean-Christophe CHANTELOUP (Laboratoire LULI, Palaiseau)	
Volume:	CM: 30 Hours	3 ects
Assessment:	Oral presentation in pairs from scientific articles	
Language of tuition:	French (slides in English)	

Course Objectives:

The aim of this course is to present state of the art oscillators and laser amplifiers, operating in CW and pulsed regime (ns to fs regimes), from the infrared to the ultraviolet, through innovative technologies recently applied. Different examples of commercial lasers are presented with their applications. Diode-pumped solid-state lasers are presented. Spatial and temporal characterization technics will be presented.

Course prerequisites:

Courses in Laser Physics, Semiconductor Laser, Non-linear Optic, Polarization, Acousto-optic, Electro-optic

Syllabus

1. Overview of lasers and of the laser market, gaz lasers.
2. Flash pumped solid-state lasers.
3. High power laser diodes: single emitter laser diode, laser diode arrays, brightness improvement.
4. Diode pumped solid-state lasers. The advantages of diode pumping. Properties of laser crystals. Longitudinal and transverse pumping. Optically pumped semi-conductor laser.
5. Spatial properties improvement in solid state laser (wave-front correction by optical phase conjugation, beam clean-up) **A. Brignon**
6. Frequency conversion using non-linear effects. Properties of non-linear crystals. Optical Parametric oscillators. Quasi-phase matching materials. Visible solid-state lasers.
6. Ultrashort pulse lasers. Mode-locking techniques. Titanium doped sapphire femtosecond lasers. Chirped Pulse Amplification concept. Presentation of commercial femtosecond laser systems at low or high repetition rates. Tunability through the optical parametric amplification. New laser diode pumped ytterbium doped femtosecond lasers (bulk and fiber based)
7. Application of ultra-short pulse lasers. Non-linear time-resolved spectroscopy. Two-photon absorption fluorescence microscopy. Athermal micro machining.
8. Spatial characterisation of laser beam (wave-front sensors, adaptive optic for solid-state lasers)
J.C. Chanteloup
9. Temporal characterization of short pulses (limitations of intensity measurements, spectro-temporal relations, measurements technics, active control of the phase) **T. Oksenhendler**

On completion of the course students should be able to:

- understand the technical solutions implemented in a laser system operating in cw or pulsed regime
- analysis scientific articles on laser technology
- make a critical analysis of scientific and technical choices implemented in laser systems
- define an architecture of a laser system to reach a specific wavelength band , an average power or an energy in pulsed regime, a pulse duration
- understand a technical data sheet of laser systems
- chose the most appropriate laser system for a specific applications
- make a scientific and technical review and survey of a specific laser technology

Textbooks/bibliography:

"Lasers" A Siegman, Stanford University", (University Science Books, (1986) ISBN 978-0-935702-11-8,

"Solid-State lasers Engineering" W. Koechner, Springer 6th Edition ISBN-10: 038729094X ISBN-13: 978-0387290942

"Solid-State lasers" M. Bass, W. Koechner, Springer ISBN10 : 0-387-95590-9 ISBN13 : 978-0-387-95590-2

"High Power Laser Handbook", H. Injeyan, G.D. Goodno, The McGraw-Hill Companies, Inc, ISBN: 978-0-07-160902-9

"Ultrashort pulses and applications" A Galvanauskas Marcel Dekker, Inc. Ed. New York (2002)

"Ultrafast Optics", A. Weiner, Wiley Series in Pure and Applied Optics, ISBN : 978-0-471-41539-8

Web-site : Encyclopedia of Laser Physics and Technology <http://www.rp-photonics.com>

"The principle of nonlinear optics", Y.R. Shen, Wiley, (1984)

"Nonlinear Optics", RW Boyd, C Braun, Academic, San Diego, Calif, (2003)

Course code:	Manipulation de systèmes quantiques simples	Semester 1
Contributes to:	M2 Laser-Optics-Matter	

Enseignants:	Rosa Tualle-Brouri (Institut d'Optique Graduate School) Daniel Comparat (Laboratoire Aimé Cotton)	
Volume horaire:	24h	3 ects
Modalités d'évaluation:	En plus de l'examen final (écrit), une petite partie du contrôle des connaissances porte sur des compte-rendus et des TDs.	
Langue:	Français	

Objectifs du cours:

- 1ère partie : Daniel Comparat : *Manipulation d'atomes, d'ions ou de molécules froides* :

Seront abordés : l'action d'un laser sur un atome isolé ; le piégeage de particules ; le passage d'un état quantique à un autre ; le refroidissement ; ainsi que les techniques expérimentales associées à ces thèmes.

- 2ème partie : Rosa Tualle-Brouri : *Manipulation d'états quantiques de la lumière*:

Les objectifs sont d'étudier l'optique quantique et ses applications. Seront abordés : la nature du photon; l'amplitude et la phase au niveau quantique ; l'intrication ; la propagation du champ quantique dans les milieux matériels ; des notions d'information quantique ; ainsi que les techniques expérimentales associées.

Pré-requis:

Des pré-requis de base en mécanique quantique sont nécessaires comme par exemple décrits dans le livre Mécanique quantique (Cohen-Tannoudji, Diu, Laloë).

Contenu du cours

I - Refroidissement laser (Daniel Comparat ~ 3 heures)

- Interaction laser avec un système à deux niveaux : Hamiltonien d'interaction.
- Quantification du champ (approche phénoménologique)
- Équations d'évolutions (de Bloch)
- Rapide évolution des cohérences: équations de taux
- Prol de raie (Effet Doppler, de collisions, de puissance lumineuse, temps d'interaction, ...)
- Force de pression de radiation et force dipolaire : vision atome habillé
- Refroidissement Doppler, mélasse optique

II – Techniques expérimentales (Daniel Comparat ~3 heures)

- Références
- En partant d'une expérience d'interaction laser avec atomes et molécules: détail des différentes techniques existantes et les solutions choisies
- Choisir le système atomique, moléculaire, solide, ...
- Connaissance spectroscopique (dipôles transitions + énergie)
- Choisir le(s) laser(s): Puissance: mesure, coupure; Fréquence, largeur spectrale: mesure, modification,
- manipulation spectrale (modification, stabilisation de fréquence) ou spatiale (taille, divergence, polarisation)
- Enceinte à vide (dessin mécanique, verre)

III – Pièges conservatifs (Daniel Comparat ~3 heures)

- Piège à ions et électrons (de Paul et de Penning)
- Piège magnétique (quadrupolaire, Ioffe...)
- Transition entre états quantiques : théorème adiabatique, STIRAP et Landau-Zener
- Refroidissement évaporatif et condensation de Bose-Einstein

III – Quantification du champ électromagnétique (Rosa Tualle-Brouri, 3 heures)

- Nature du photon – espace de Fock - Etats cohérents
- Action d'une séparatrice – coalescence de photons
- Quadratures - tomographie quantique - fonction de Wigner
- Problèmes multimodes – interférences à 1 photon

IV – Propagation du champ quantique dans les milieux matériels (Rosa Tualle-Brouri ~ 7,5 heures)

- Etude de l'amplification paramétrique optique
- Génération de vide comprimé – paires EPR
- Génération conditionnelle d'états quantiques
- Applications à l'optique quantique: intrication, inégalités de Bell, téléportation, opérations fondamentales du calcul quantique, finalité du calcul quantique.

Compétences attendues à la fin de l'UE:

A la fin du cours un étudiant doit pouvoir lire, expliquer et évaluer les ordres de grandeurs présents dans les articles récents que ce soit en optique quantique ou en manipulation de particules froides par champs électromagnétiques.

Bibliographie:

Des notes de cours seront distribuées.

Course code:	Atomes ultrafroids et simulateurs quantiques	Semester 1
Contributes to:	M2 Laser-Optics-Matter	

Course directors:	Laurent Sanchez-Palencia and Marc Cheneau	
Volume:	CM: 21 Hours	3 ects
Assessment:	Written exam (~3 hours, with documents)	
Language of tuition:	English or French	

Course Objectives:

This set of lectures is an introduction to the modern physics of ultracold atoms and to the recently emerged notion of quantum simulators. The lectures start with a reminder of quantum statistical physics and an introduction to laser cooling and manipulation of neutral particles. It provides the students with the necessary elements and tools to address all the topics of the course. The main part of the lectures focus on the microscopic theories of and advanced experiments on Bose-Einstein condensates, degenerate Fermi gases, and optical lattices. Fundamental concepts, such as thermodynamical properties, quasi-particle excitations, quantum depletion, and superfluidity are discussed in detail. Both equilibrium and non-equilibrium phenomena are addressed.

Web page of the course: <http://www.uquantmat.fr/teachUPSay-UAQS.html>

Course prerequisites:

- Elementary notion of classical statistical physics
- Elementary notion of quantum physics

Syllabus

Lecture 1 (LSP) Overview of the course. Reminder of statistical physics. Thermodynamics of ideal gases Bosons, fermions, and the de Broglie wavelength.

Lecture 2 (MC) Introduction to laser cooling and trapping. Bose-Einstein condensates: Ideal Bose gases.

Lecture 3 (LSP) Weakly-interacting Bose-Einstein condensates at zero temperature: from vanishingly small interactions to Thomas-Fermi regime. Introduction to the second-quantization formalism for bosons and fermions.

Lecture 4 (LSP) Microscopic theory of the Bose gas and Bogoliubov theory. Quantum depletion; superfluidity.

Lecture 5 (MC) Optical lattices: From one-body to many-body physics. The superfluid to Mott transition.

Lecture 6 (LSP) Degenerate Fermi gases: Ideal Fermi gases. Interacting Fermi gases: Fermi superfluids, BCS theory, BEC-BCS crossover.

Lecture 7 (MC) Dynamics of correlated quantum systems.

On completion of the course students should be able to:

After the lectures, the students will master the most important discoveries in the field of ultracold atoms and quantum simulators of the last decades. They should then be able to read and understand a modern paper of the field of ultracold atoms, and to enter this field with the relevant knowledge.

Textbooks/bibliography:

- [1] J.L. Basdevant, J. Dalibard, and M. Joffre, *Mécanique Quantique* (Presses de l'École Polytechnique; Available also in English at Springer, 2006).
- [2] B. Diu, D. Lederer, and B. Roulet, *Physique Statistique* (Hermann, Paris, 1996).
- [3] C.J. Pethick and H. Smith, *Bose-Einstein Condensation in Dilute Gases* (Cambridge University Press, 2008).
- [4] L.P. Pitaevskii and S. Stringari, *Bose-Einstein Condensation* (Clarendon press, Oxford, 2004).

Course code:	Quantum communication	Semester 1
Contributes to:	M2 Laser-Optics-Matter	

Course directors:	Isabelle Zaquine (Télécom ParisTech, LTCI)	
Co-teachers :	Eleni Diamanti (LTCI), Damian Markham (LTCI), Romain Alléaume (Télécom ParisTech, LTCI)	
Volume:	CM 13,5h - TD 6h - TP 3h	3 ects
Assessment:	Multiple Choice Questions test, oral presentation of a research paper and report on the labworks on entangled photon sources.	
Language of tuition:	English or French	

Course Objectives:
Give the state of the art in quantum communications
<ul style="list-style-type: none"> • components and their performance • examples of protocols • experimental implementations • the major challenges of the domain

Course prerequisites:
Basics electromagnetism, quantum physics, quantum optics (field quantization)

Syllabus
Useful quantum physics notions, entangled photon pair sources and single photon detectors, teleportation, entanglement swapping, cryptography, quantum key distribution systems, device independent security, quantum state discrimination.

On completion of the course students should be able to:
<ul style="list-style-type: none"> • understand the design of quantum communication systems • understand the major protocols • calculate key rates in quantum key distribution • characterize the quality of entanglement of a photon pair source • identify some major flaws in a quantum communication system design • contribute to the design of new quantum communication experiments • contribute to the development of new quantum information protocols

Textbooks/bibliography:
There is no comprehensive book on this subject.

Course code:	Structure moléculaire et transitions optiques	Semester 1
Contributes to:	M2 Laser-Optics-Matter	

Responsable:	Niloufar Shafizadeh(CR-CNRS_ISMO)	
Enseignants:	Jean-Hugues Fillion (Professeur UPMC-LERMA) –Séverine Boyé-péronne (MCF UPS-ISMO)	
Volume horaire:	24h	3 ects
Modalités d'évaluation:	Examen écrit.	
Langue:	Français	

Objectifs du cours:

Course Objectives: Is to describe the interaction between **an isolated molecule and an electromagnetic radiation, i.e, an introduction to the molecular spectroscopy.**

We will present

- *The models which describe the molecular electronic, vibrationnal and rotationnal wave function and their symmetries,
 - *The approximations which allow to describe the nuclear motion in molecules (vibration and rotation),
 - *The coupling between the orbital angular momentum and the rotational angular momentum,
 - *The selection rules which allow the interaction between the radiation and the molecules.
- This option is a direct approach for describing the electronic structure of isolated molecules.

Pré-requis:

Structure et dynamique électronique

Bibliographie :

- Mécanique Quantique C.Cohen Tannoudji, B. Diu et F. Laloë
- Physique Atomique et Moléculaire (M1 Physique fondamentales Université Paris-Sud)
- Atomic and molecular physics (M1 Physics for Optics and Nanosciences)

Contenu du cours

Chapitre I- Les bases pour comprendre la structure moléculaire

Chapitre II- Structure électronique d'une molécule diatomique

Chapitre III- La molécule avec spin électronique -Interaction spin-orbite

Chapitre IV- Structure vibrationnelle et rotationnelle d'une molécule diatomique

Chapitre V- Interaction molécule- rayonnement

Chapitre VI- Moment de transition pour une transition dipolaire électrique

Chapitre VII- Molécules Polyatomiques

Chapitre VIII-Méthodes actuelles de la spectroscopie :Transition multiphotonique et Spectroscopie d'absorption intra cavité

Compétences attendues à la fin de l'UE:

The students will be able to analyse a molecular spectrum and extract from it informations on the molecular structure , geometry and the energy levels of the system.

Bibliographie:

* **Gerhard Herzberg** *Molecular Spectra and Molecular Structure volume 1,2,3*

***Hollas** *Spectroscopie* Dunod Paris 1998

***Emile Biémont** *Spectroscopie Moléculaire* édition de boeck 2008

***Hélène Lefevre-Brion and Robert Field** *Spectra and dynamics of diatomic molecules* Elsevier Academic Press

2004

***Edmonds** *Angular Momentum in Quantum Mechanics* (Princeton University Press Princeton 1974

***R.N Zare** *Angular Momentum Understanding Spatiale Aspects in Chemistry and Physics* Wiley –Interscience publication 1987

***Condon and Shortley** *The Theory of Atomic Spectra*

***Jeffrey Steinfeld** *Molecules And Radiation: An Introduction To Modern Molecular Spectroscopy*

Course code:	Dynamique réactionnelle photo-induite : de la molécule isolée aux systèmes complexes	Semester 1
Contributes to:	M2 Laser-Optics-Matter	

Enseignants:	Marie-Pierre FONTAINE-AUPART (ISMO, Orsay) Lionel POISSON (LIDyL, Saclay) Jérémie CAILLAT (LCPMR, UPMC)	
Volume horaire:	CM 18h TD 6h	3 ects
Modalités d'évaluation:	Discussions avec le jury sur la base d'un thème abordé et tiré au sort (20 min préparation/20 min discussion)	
Langue:	English or French	

Objectifs du cours:

Ce cours vise à faire découvrir les techniques existantes pour le suivi résolu en temps des dynamiques prenant place au sein de systèmes moléculaires. Nous partirons de résultats expérimentaux pour aborder les phénomènes physiques et chimiques qui gouvernent ces dynamiques. Nous explorerons des phénomènes se déroulant à diverses échelles de temps : de l'atto-seconde pour des processus électroniques, femto/picoseconde pour des processus vibrationnels et des échelles de temps jusqu'à la milliseconde pour les processus biologiques.

Pré-requis:

Connaissances en physique des lasers et spectroscopie.

Contenu du cours

- 1-Dynamique résolue en temps. Technique Pompe/sonde, conceptualisation, expériences, mécanismes de la relaxation électronique.
 - 2-Spectroscopie résolue en temps à l'échelle atto-seconde : Génération atto-seconde, dynamiques attosecondes : une nouvelle façon de sonder la dynamique.
 - 3- Application aux complexes biologiques
- Une visite du server laser ATTOLAB et des expériences attenantes sera organisée dans le cadre de ce module.

Compétences attendues à la fin de l'UE:

Compréhension de la physique qui permet de produire ou de sonder un phénomène dépendant du temps dans un système moléculaire. Connaissance de divers processus de relaxation de l'énergie. Connaissance sur l'interaction laser-molécule sous diverses conditions.

Bibliographie:

H. Zewail, J. Phys. Chem. A 2000, 104, 5660-5694.

Course code:	Dynamique quantique des systèmes de plusieurs corps à faible énergie	Semester 1
Contributes to:	M2 Laser-Optics-Matter	

Teachers :	Olivier Dulieu, Maxence Lepers, Goulven Quémener (LAC,CNRS, Université Paris Sud)	
Volume:	24h	3 ects
Assessment:	bibliographic project + oral presentation	
Language of tuition:	English (or French, depending on the audience)	

Course Objectives:

- Multipolar expansion in Cartesian and spherical coordinates; application of quantum perturbation theory to calculate long-range interactions; examples of their importance for modern research in ultracold gases.
- Theory of ultracold collisions (partial waves). Control of interactions and dynamics with magnetic and electric fields.

Course prerequisites:

Quantum mechanics, basics in atomic and molecular physics.

Syllabus

1. Introduction to ultracold (molecular) gases (3h)
2. Long-range interactions between atoms and molecules (9h)
 - 2.1 Reminder: atomic and molecular quantum numbers
 - 2.2 Calculation of electrostatic energy between two charge distributions
 - 2.3 Long-range interactions in ultracold matter
3. Atomic and molecular collisions and control by electromagnetic fields (9h)
 - 3.1 General features of scattering theory
 - 3.2 Partial waves method
 - 3.3 Magnetic field control of ultracold matter. Formation of Feshbach molecules by magneto-association
 - 3.4 Electric field control of ultracold matter. Controlling long-range interaction between molecules

Course code:	Impulsions optiques ultra-brèves	Semester 1
Contributes to:	M2 Laser-Optics-Matter	

Responsable:	Adeline Bonvalet (Laboratoire d'Optique et Biosciences, CNRS-Ecole Polytechnique)	
Enseignants:	Louis Daniault (Laboratoire pour l'Utilisation des Lasers Intenses, Ecole Polytechnique) Pascal Salières (Laboratoire Interactions, Dynamiques et Lasers, CEA-Saclay)	
Volume horaire:	21H (CM 13H30 - TD 7H30)	3 ects
Modalités d'évaluation:	Examen oral	
Langue:	Français	

Objectifs du cours:

Les objectifs de ce cours sont de présenter d'une part les propriétés remarquables des impulsions lasers ultrabrèves (sub-picoseconde) et les principes de leur génération, et d'autre part les applications de plus en plus nombreuses dans des domaines très variés : spectroscopie, microscopie, métrologie, nouveaux types de sources de rayonnement, etc...Ce cours introduit les notions et outils nécessaires pour comprendre les phénomènes mis en jeu, ainsi que les techniques expérimentales permettant d'engendrer, amplifier, caractériser et manipuler les impulsions dites « femtosecondes ».

Pré-requis:

Optique linéaire et non-linéaire, Lasers, Optique de Fourier.

Contenu du cours

1. Présentation. Propagation d'une impulsion brève. Etirement et compression. Façonnage temporel.
2. Génération, amplification. Caractérisation temporelle, mesure de phase spectrale.
3. Phénomènes non-linéaires : mélange de fréquence, effet Kerr, effet Raman, génération de continuum spectral...
4. Applications : spectroscopie ultrarapide, contrôle cohérent, spectroscopie multidimensionnelle, métrologie des fréquences.
5. Applications : photoablation et micro-usinage, imagerie (microscopie, nanoscopie), génération de rayons X.
6. Génération d'harmoniques d'ordre élevé.
7. Génération et applications d'impulsions attosecondes (10^{-18} s).

Compétences attendues à la fin de l'UE:

A l'issue du cours les étudiants maîtrisent les outils nécessaires à la modélisation et à l'utilisation des impulsions courtes, les relations entre durée et spectre, la notion de phase spectrale. Ils connaissent le principe de génération des impulsions brèves et les techniques de caractérisation telles que le FROG ou le SPIDER. Ils ont étudié les applications les plus courantes, et plus en détail la génération d'impulsions attosecondes.

Bibliographie:

Femtosecond Laser Pulses, Principles and experiments, Claude Rulliere, Ed. Springer, Advanced Texts in Physics, 2005
The Elements of Non-linear Optics, Paul N. Butcher, David Cotter, Cambridge studies in Modern Optics 9, 1991

Course code:	Plasma Physics	Semester 1
Contributes to:	M2 Laser-Optics-Matter	

Course director:	Patrick Mora	
Course teachers :	Patrick Mora (Ecole polytechnique) and François Amiranoff (Ecole polytechnique)	
Volume:	24h	3 ects
Assessment:	oral or written examination (depending on the number of students)	
Language of tuition:	French	

Course Objectives:

To give an introduction to plasma physics. A particular attention will be given to plasmas created by lasers, as the Saclay area hosts two of the most powerful and energetic lasers in the world, and as the corresponding local scientific community is recognized as being at the top international level.

Course prerequisites:

Classical electrodynamics (e.g., Jackson's text book)

Syllabus

1. Introduction. Interest for plasmas; plasmas in nature and in laboratories; plasmas for thermonuclear controlled fusion; Saha equilibrium; Fermi temperature and degenerated plasmas; classification of plasmas.
2. Basic notions. Debye length; coupling parameter; electron and ion plasma frequencies; binary collisions and coulomb logarithm; collisional mean free path.
3. Fluid description and kinetic theory. Distribution functions; mean fields and Vlasov-Maxwell equations; collisional kinetic equation; fluid quantities and fluid equations; closure of fluid equations.
4. Fluid theory of plasma waves. Dispersion relation, phase velocity, group velocity; electrostatic waves in cold plasmas; thermal corrections; ion acoustic waves; electromagnetic waves; propagation in inhomogeneous plasmas; BKW approximation.
5. Kinetic theory of electron plasma waves. Landau damping.
6. Trapping of particles in longitudinal waves. Motion of a particle in a finite amplitude wave; circulating and trapped particles; separatrix; wave-particle interaction.
7. Nonlinear waves in plasmas. Ponderomotive force; parametric instabilities of laser beams in plasmas.

On completion of the course students should be able to: understand the main characteristics of plasma physics, its specificity with regards to other fields of physics; distinguish the main waves propagating in a plasma, and calculate their dispersion relation and their phase velocity; have an insight in the dynamical and nonlinear aspects of plasma physics.

Textbooks/bibliography:

J.-M. Rax, *Physique des plasmas*, Dunod 2005 (in french)

Course code:	Optics Labworks 2	Semester 1
Contributes to:	M2 Laser-Optics-Matter	

Course director :	Fabienne Bernard (IOGS)	
Course teachers :		
Volume:	27 hours	3 ects
Assessment:	Reports on each labwork	
Language of tuition:	English or French	

Course Objectives:

Course based on strong emphasis on hands-on training, which is inseparable from top-level classroom training. Labwork subjects intend to reflect the most recent advances in research in all areas of modern optics, and in state-of-the-art optical technologies.

The course provides opportunities to perform top-level labwork in instrumental optics (spatial light modulators, phase-shifting interferometer, etc.), optical telecommunications (erbium-doped fibre amplifiers, 10 Gb/s digital transmission), and quantum physics (source of entangled photons, saturated absorption),

Syllabus

- Sensing and imaging with light:

Speckle - Roughness and diffraction (Visual observations and review of the general properties of speckle - Study of the speckle pattern with a CCD camera - Speckle in the image of a scattering object).

Measurement of object deformations by Speckle Interferometry (DSPI or Digital Speckle Pattern Interferometry; Study of the properties of the speckle pattern - Speckle interferometry : Study of the phase of the speckle grains - Study of the object deformation).

Spatial Light Modulators (SLM) (use of a SLM for intensity or phase modulation).

Homodyne / Heterodyne sensors

- Optical fibers & telecommunications:

Slow and fast light regime in nonlinear fiber optics (The relationship between the change in the optical transmission and the group velocity is investigated in a silica optical fiber by exploiting the very narrow spectral resonance related to the Stimulated Brillouin Scattering (SBS) – Characterization of the optical amplification based on SBS configuration – Experimental study of a tunable optical line delay.)

Fiber optic gyroscope (Experimental study of the Sagnac effect)

Noise in a fiber optical amplifier

Dispersion in an optical fiber

- Quantum Photonics: (For students who have not followed Optics Labwork 1)

Entangled photons, Hong-Ou-Mandel effect, and Bell inequality (use of single-photon-counter Modules, counters and coincidence detector. Photon pairs are obtained by spontaneous parametric conversion and, after adjustment of the EPR state, the photon coalescence or a violation of a Bell inequality can be observed).

Saturated absorption (Protocol of major interest in atomic physics in order to accurately lock the wavelength of a laser source).

Second-harmonic generation in nonlinear crystals (Principle of the second harmonic generation -SHG- effect in 2nd order nonlinear crystals).

On completion of the course students should be able to:

Handle experimental techniques and protocols essential in modern experimental physics.

Textbooks/bibliography:

<http://www.institutoptique.fr/en/Education/Ingenieur-Grande-Ecole/Labwork>