

# MAÎTRISE ÈS SCIENCES PHYSIQUE CONCENTRATION SCIENCES QUANTIQUES

## En bref

- Grade universitaire offert : Maîtrise ès sciences (M.Sc.)
- Options de statut d'inscription : Temps complet ou temps partiel
- Langue d'enseignement : Anglais

Presque tous les cours de ce programme sont offerts en anglais. Les activités de recherche peuvent se dérouler soit en anglais, soit en français, ou encore dans les deux langues en fonction de la langue principale du professeur et des membres du groupe

- Options d'études (durée prévue du programme) :
  - avec thèse, cheminement standard (6 trimestres à temps complet, soit 24 mois consécutifs)
  - avec thèse, cheminement accéléré (3 trimestres à temps complet, soit 12 mois consécutifs)
- Unités scolaires : Faculté des sciences (<https://science.uottawa.ca/fr/>), Département de physique (<http://science.uottawa.ca/physique/>), Institut de physique d'Ottawa-Carleton (IPOC) (<http://www.ocip.ca/>).

## Description du programme

### Institut de physique d'Ottawa-Carleton

Fondé en 1983, l'Institut de physique d'Ottawa-Carleton (IPOC) combine les ressources en recherche de l'Université d'Ottawa et de la Carleton University. L'Institut offre des programmes d'études supérieures de maîtrise (M.Sc.) et de doctorat (Ph.D.) en physique.

Les installations de recherche sont partagées entre les deux campus. Les étudiants ont accès aux cours, à l'équipement et aux professeurs des deux universités mais doivent s'inscrire à l'université d'attache de leur directeur de thèse.

## Principaux domaines de recherche

- Physique de la matière condensée
- Physique biologique
- Physique médicale
- Physique des particules
- Photonique

## Autres programmes offerts dans la même discipline ou dans une discipline connexe

- Maîtrise ès sciences Physique (M.Sc.)
- Maîtrise ès sciences Physique Spécialisation en Science, société et politique publique (M.Sc.)
- Doctorat en philosophie Physique (Ph.D.)

## Coût et financement

- Frais reliés aux études :

Le montant estimé des droits universitaires (<https://www.uottawa.ca/droits-universitaires/>) de ce programme est disponible sous la section Financer vos études (<http://www.uottawa.ca/etudes-superieures/programmes-admission/financer-etudes/>).

Les étudiants internationaux inscrits à un programme d'études en français peuvent bénéficier d'une exonération partielle des droits de scolarité (<https://www.uottawa.ca/droits-universitaires/exoneration-partielle-des-droits-de-scolarite/>).

- Pour des renseignements sur les moyens de financer vos études supérieures, veuillez consulter la section Bourses et appui financier (<https://www.uottawa.ca/etudes-superieures/etudiants/bourses/>).

## Notes

- Les programmes sont régis par les règlements généraux (<http://www.uottawa.ca/etudes-superieures/etudiants/reglements-generaux/>) en vigueur pour les études supérieures.
- Conformément au règlement de l'Université d'Ottawa, les travaux, les examens, les mémoires, et les thèses peuvent être complétés en français ou en anglais.

## Coordonnées du programme

Bureau des études supérieures, Faculté des sciences (<http://science.uottawa.ca/fr/services-facultaires/cycles-superieurs/>)  
30 Marie-Curie Street, pavillon Gendron, pièce 181  
Ottawa, Ontario, Canada  
K1N 6N5

Tel.: 613-562-5800 x3145

Courriel: [gradsci@uottawa.ca](mailto:gradsci@uottawa.ca) ([engineering.grad@uottawa.ca](mailto:engineering.grad@uottawa.ca))

Twitter | Faculté des sciences (<https://twitter.com/uottawascience/>)

Facebook | Faculté des sciences (<https://www.facebook.com/uOttawaScience/>)

## Exigences d'admission

Pour connaître les renseignements à jour concernant les dates limites, les tests de langues et autres exigences d'admission, consultez la page des exigences particulières (<https://www.uottawa.ca/etudes/etudes-superieures/exigences-admission-particulieres/>).

## Pour être admissible au cheminement standard de la M.Sc., vous devez :

- Être titulaire d'un baccalauréat spécialisé ou avec majeure en physique (ou l'équivalent) avec une moyenne minimale de 70 % (B).

Note : Les candidats internationaux doivent vérifier les équivalences d'admission (<https://www.uottawa.ca/etudes-superieures/international/etudier-uottawa/equivalences-admission/>) pour le diplôme obtenu dans leur pays de provenance.

- Avoir un bon rendement scolaire tel que démontré par les relevés de notes officiels, les rapports de recherche, les résumés ou d'autres documents à l'appui démontrant une expérience de recherche.
- Satisfaire aux exigences de financement.

Note : Les étudiants internationaux doivent fournir une preuve de financement, c'est-à-dire une allocation d'un superviseur et une combinaison de bourses et/ou de fonds en fiducie.

- Identifier au moins un professeur prêt à diriger votre recherche et votre thèse.
  - Il est recommandé de communiquer avec le directeur de thèse dès que possible.
  - Pour pouvoir vous inscrire, vous devez faire accepter votre candidature par un directeur de thèse.
  - Le nom du professeur est requis lors de la demande d'admission.

## Pour être admissible au cheminement accéléré de la M.Sc., vous devez :

- Avoir été admis dans un programme de premier cycle à l'Université d'Ottawa
- Avoir été inscrit(e) dans le cours PHY 4006 (ou équivalent) l'année précédant l'entrée à la Maîtrise
- Avoir une moyenne d'admission d'au moins 8.0.

Note : Les candidats internationaux doivent vérifier les équivalences d'admission (<https://www.uottawa.ca/etudes-superieures/international/etudier-uottawa/equivalences-admission/>) pour le diplôme obtenu dans leur pays de provenance.

- Avoir identifié un cours en physique (PHY) de niveau 4000 ou 5000 qui doit être reconnu pour la M.Sc. et qui doit avoir été complété avec une note de A- ou plus.
- Avoir un directeur de thèse qui a accepté de continuer à diriger vos recherches au niveau de la maîtrise.

Note : Le choix du professeur détermine le campus où il faut poursuivre la recherche et ce sera aussi l'université qui octroie le diplôme.

## Exigences linguistiques

Les candidats doivent comprendre et parler couramment la langue d'enseignement du programme dans lequel ils veulent s'inscrire. Une preuve de compétence linguistique peut être requise.

Ceux dont la langue maternelle n'est ni le français ni l'anglais doivent fournir une preuve de compétence dans la langue d'enseignement.

Note : Les coûts des tests de compétences linguistiques devront être assumés par le candidat.

## Notes

- Les conditions d'admission décrites ci-dessus représentent des exigences minimales et ne garantissent pas l'admission au programme.
- Les admissions sont régies par les règlements académiques (<http://www.uottawa.ca/etudes-superieures/etudiants/reglements-generaux/>) en vigueur pour les études supérieures.

## Exigences du programme Maîtrise avec thèse

Les exigences à remplir sont les suivantes :

La participation aux séminaires de l'Institut est obligatoire.

### Cours obligatoire :

|          |                                |           |
|----------|--------------------------------|-----------|
| PHY 5390 | Quantum Science and Technology | 3 crédits |
|----------|--------------------------------|-----------|

### Cours optionnels :

|                                                                                 |           |
|---------------------------------------------------------------------------------|-----------|
| 6 crédits de cours optionnels en physique (PHY) de niveau gradué <sup>1,2</sup> | 6 crédits |
|---------------------------------------------------------------------------------|-----------|

PHY 5130 Experimental Characterization Techniques in Materials Science, Physics, Chemistry, and Mineralogy

PHY 5170 Advanced Quantum Mechanics I

PHY 5340 Computational Physics: Deterministic Methods

PHY 5341 Computational Physics: Stochastic Methods

PHY 5362 Computational Methods in Material Sciences

PHY 5388 Photons and Atoms

PHY 5389 Quantum Theory of Light

PHY 5391 Quantum Materials, Nanostructures and Devices

PHY 5392 Introduction to Nanoscience

### Thèse :<sup>3,4</sup>

THM 7999 Thèse de maîtrise

### Note(s)

- <sup>1</sup> Les crédits de cours optionnels peuvent être choisis dans des disciplines connexes approuvés par le Département de physique.
- <sup>2</sup> Pour les étudiants acceptés dans le cheminement accéléré, le nombre de cours à suivre pendant la période d'inscription au M.Sc. est réduit à deux.
- <sup>3</sup> Présentation et soutenance d'une thèse en sciences quantiques fondée sur des travaux de recherche effectués sous la direction d'un professeur membre du programme principal de l'étudiant. Le Comité des études supérieures en sciences quantiques déterminera si le sujet de la thèse convient à la désignation de « en sciences quantiques ». Au moins un des membres du comité consultatif de thèse et des examinateurs de la thèse doit avoir été recommandé par le Comité des études supérieures en sciences quantiques.
- <sup>4</sup> L'étudiant est responsable de s'assurer de rencontrer les exigences relatives à la thèse (<http://www.uottawa.ca/etudes-superieures/etudiants/theses/>).

## Passage accéléré de la maîtrise au doctorat

Les étudiants inscrits au programme de maîtrise en physique à l'Université d'Ottawa ont la possibilité de passer directement au programme de doctorat sans avoir à rédiger la thèse de maîtrise. Pour de plus amples renseignements, veuillez consulter la section « Exigences d'admission » du programme de doctorat.

## Exigences minimales

La note de passage dans tous les cours est de B. Les étudiants qui échouent deux cours (équivalent à 6 crédits) ou dont le rapport de progrès est jugé insatisfaisant doivent se retirer du programmes.

## Recherche

### La recherche à l'Université d'Ottawa

Située au cœur de la capitale du Canada, à quelques pas de la colline du Parlement, l'Université d'Ottawa se classe parmi les 10 meilleures universités de recherche au Canada. Notre recherche est fondée sur l'excellence, la pertinence et l'impact et s'effectue dans un esprit d'équité, de diversité et d'inclusion.

Notre communauté de recherche se développe dans quatre axes stratégiques :

- Créer un environnement durable,
- Promouvoir des sociétés justes,
- Façonner le monde numérique
- Favoriser santé et bien-être tout au long de la vie.

Qu'il s'agisse de faire progresser les solutions en matière de soins de santé ou de relever des défis mondiaux comme les changements climatiques, les chercheurs de l'Université d'Ottawa sont à l'avant-garde de l'innovation et apportent des contributions importantes à la société et au-delà.

### La recherche à la Faculté des sciences

La Faculté des sciences est devenue un centre d'excellence en recherche grâce à ses professeurs de renommée mondiale ainsi qu'à ses programmes et infrastructures en biologie, chimie, sciences de la Terre, physique, mathématiques et statistiques.

L'excellence de ses 140 professeurs de stature internationale, de ses 400 étudiants aux cycles supérieurs et de ses douzaines de chercheurs postdoctoraux et scientifiques invités a fait de la Faculté des sciences l'une des plus productives en recherche au Canada. Nos professeurs se sont mérités plusieurs reconnaissances nationales et internationales dont trois récipiendaires de la médaille d'or Gerhard-Herzberg du CRSNG et plusieurs élections à la Société royale du Canada.

La Faculté des sciences a bénéficié d'investissements majeurs en infrastructure qui ont permis de développer des plateformes de recherche et de fournir des capacités de recherche à la fine pointe dans les domaines de la catalyse, la chimie expérimentale et quantitative, les contaminants environnementaux, la résonance magnétique nucléaire, l'analyse d'isotopes, la biologie moléculaire et génomique, la spectrométrie/diffractométrie à rayons-X, la spectrométrie de masse, la physiologie et génétique des organismes aquatiques et la photonique. De plus, la Faculté des sciences est affiliée au Centre de recherche mathématiques (CRM) de l'Université de Montréal et à l'Institut Fields de recherche en sciences mathématiques, offrant un environnement unique pour la recherche en mathématiques.

Pour d'autres informations, veuillez consulter la liste des membres du corps professoral et leurs domaines de recherche sur **Uniweb**.

**IMPORTANT : Les candidats et les étudiants à la recherche de professeurs pour superviser leur thèse ou leur projet de recherche peuvent aussi consulter le site Web de la faculté ou du département (<https://www.uottawa.ca/etudes/etudes-superieures/coordonnees-unites-academiques/>) du programme de leur choix. La plateforme Uniweb n'est pas représentative de l'ensemble du corps professoral autorisé à diriger des projets de recherche à l'Université d'Ottawa.**

## Cours

Tous les cours ne sont pas nécessairement offerts chaque année. Les cours sont offerts dans la langue dans laquelle ils sont décrits.

Les cotes de cours entre parenthèses sont celles de la Carleton University. Un cours de 3 crédits à l'Université d'Ottawa correspond à 0.5 crédit à la Carleton University.

### PHY 5100 Solid State Physics I (3 units)

Structures and scattering. Space and reciprocal lattice. One-electron approximation and electron in a periodic potential. Phonons. The Drude and Sommerfeld theory of metals. Band structure calculation. Electron and phonon density of states. Exciton, plasmons, and light matter interaction in crystals. Nanostructures and low-dimensional systems. The course is equivalent to PHYJ 5401 at Carleton University.

**Course Component:** Lecture

### PHY 5110 Solid State Physics II (3 units)

Advanced solid state physics with a focus on properties of interacting systems. Methods of many-body physics, including density functional theory, many-body perturbation theory, configuration interaction, and matrix product states. Quasiparticles. Linear response theory and the random phase approximation. Superconductivity including BCS and Ginzburg-Landau theories. Topics chosen from: Kondo effect; integer and fractional quantum Hall effects; Landau theory of phase transitions; topological phases; the renormalization group; entanglement and quantum information. This course is equivalent of PHYJ 5402 at Carleton University.

**Course Component:** Lecture

### PHY 5112 Physics of Medical Imaging (3 units)

Physical foundation of, and recent developments in, transmission x-ray imaging, computerized tomography, nuclear medicine, magnetic resonance imaging, and ultrasound, for the imaging physics specialist. Imaging system performance: contrast, resolution, modulation transfer function, signal-to-noise ratio, detective quantum efficiency. Essentials of image display and processing. This course is equivalent to PHYS 5204 at Carleton University.

**Course Component:** Lecture

### PHY 5130 Experimental Characterization Techniques in Materials Science, Physics, Chemistry, and Mineralogy (3 units)

Survey of experimental techniques used in materials science, condensed matter physics, solid state chemistry, and mineralogy to characterize materials and solid substances. Diffraction (X-ray diffraction, neutron diffraction...). Spectroscopy (infra-red spectroscopy, Raman spectroscopy, nuclear magnetic resonance, Mössbauer spectroscopy, electron spin resonance...). Microscopy and imaging (scanning electron microscopy, transmission electron microscopy, optical microscopy, magnetic resonance imaging...). Other analytic techniques (thermal analysis, wet chemistry, bulk thermodynamic properties, linear response and dc susceptibility...). This course is equivalent to PHYJ 5001 at Carleton University.

**Course Component:** Lecture

### PHY 5140 Methods in Theoretical Physics I (3 units)

This course is equivalent to PHYS 5801 at Carleton University.

**Course Component:** Lecture

### PHY 5141 Methods in Theoretical Physics II (3 units)

This course is equivalent to PHYS 5802 at Carleton University.

**Course Component:** Lecture

### **PHY 5161 Medical Radiation Physics (3 units)**

This course is equivalent to PHYS 5203 at Carleton University.

**Course Component:** Lecture

### **PHY 5163 Radiation Protection (3 units)**

This course is equivalent to PHYS 5208 at Carleton University.

**Course Component:** Lecture

### **PHY 5164 Medical Radiotherapy Physics (3 units)**

This course is equivalent to PHYS 5206 at Carleton University.

**Course Component:** Lecture

### **PHY 5165 Radiobiology (3 units)**

This course is equivalent to PHYS 5207 at Carleton University.

**Course Component:** Lecture

### **PHY 5166 Medical Physics Practicum (3 units)**

This course is equivalent to PHYS 5209 at Carleton University.

**Course Component:** Lecture

### **PHY 5167 Advanced Topics in Medical Physics (3 units)**

Topics may include medical imaging physics, cancer therapy physics, medical biophysics, or radiation protection and health physics. Topics vary from year to year.

**Course Component:** Lecture

Prerequisites: PHY 5161 plus, as appropriate to the topic offered, at least one of PHY 5112, PHY 5164, PHY 5165.

### **PHY 5168 Anatomy and Physiology for Medical Physicists**

Overview of human anatomy and physiology as background for the application of physics to cancer therapy and medical imaging. Anatomy as depicted by imaging technologies such as CT, MRI, and radiography will be emphasized. Graded S (Satisfactory) or NS (Not satisfactory).

**Course Component:** Lecture

Prerequisite: Enrolment in the graduate field of medical physics.

### **PHY 5170 Advanced Quantum Mechanics I (3 units)**

Review of operators, motion in a general field and angular momentum. Identical particles and exchange, two electron atoms, Hartree-Fock and statistical models of many particle systems. Angular momentum, Clebsch-Gordan coefficients and scattering theory.

**Course Component:** Lecture

### **PHY 5304 Introduction to General Relativity (3 units)**

Special relativity using tensor analysis. Curved spacetime with physics applications which may include the solar system, stars, black holes, and gravitational waves. Introduction to differential geometry and Einstein's field equations. This course is equivalent to PHYS 5804 at Carleton University.

**Course Component:** Lecture

Also offered at the undergraduate level, with different requirements, as PHY 4346, for which additional credit is precluded.

### **PHY 5310 Advanced Optics and Photonics (3 units)**

Introduction to laser physics: Optical resonators, light-matter interaction, basic operation of lasers, coherence, light control and manipulation, beam optics, Fourier optics. Guided wave optics: light propagation, allowed modes, dispersion. Courses PHY 5310, PHY 4310 cannot be combined for units. This course is equivalent to PHYJ 5310 at Carleton University.

**Course Component:** Lecture

### **PHY 5318 Modern Optics (3 units)**

Electromagnetic wave propagation; reflection, refraction; Gaussian beams; guided waves. Laser theory: stimulated emission, cavity optics, gain and bandwidth, atomic and molecular lasers. Mode locking, Q switching. Diffraction theory, coherence, Fourier optics, holography, laser applications. Optical communication systems, nonlinear effects: devices, fibre sensors, integrated optics.

**Course Component:** Lecture

### **PHY 5320 Introduction to the Physics of Macromolecules (3 units)**

The chemistry of macromolecules and polymers; random walks and the static properties of polymers; experimental methods; the Rouse model and single chain dynamics; polymer melts and viscoelasticity; the Flory-Huggins theory; the reptation theory; computer simulation algorithms; biopolymers and copolymers. This course is equivalent to PHYJ 5508 at Carleton University.

**Course Component:** Lecture

### **PHY 5322 Biological Physics (3 units)**

Biological phenomena studied using techniques of physics. Key components of cells. Physical concepts relevant to cellular phenomena: Brownian dynamics, fluids, suspensions, entropy driven phenomena, chemical forces and self-assembly. Biological molecules. Enzymes. Molecular motors. Nerve impulses. Also offered, with different requirements, as PHY 4322. Courses PHY 4322, PHY 5322 cannot be combined for units. This course is equivalent to PHYJ 5322 at Carleton University.

**Course Component:** Lecture

Exclusion: PHY 4322.

### **PHY 5330 Fiber Optics Communications (3 units)**

Optical fibres: description, modes, losses. Optical transmitters: light-emitting diodes and semiconducting lasers. Optical receivers: design, noise, sensitivity, degradation, performance. System design and performance. Optical amplifiers: dispersion management, pre-compensation schemes, post-compensation techniques, dispersion compensating fibres, optical filters, fibre Bragg gratings, soliton generation, long-haul lightwave systems, high-capacity systems. Courses PHY 5330, ELG 5103 cannot be combined for units. This course is equivalent to PHYJ 5330 at Carleton University.

**Course Component:** Lecture

### **PHY 5331 Fiber Optics Fundamentals and Applications (3 units)**

Fiber optics fundamental, Mach-Zehnder, Michelson, Fabry-Perot, Sagnac based interferometers and phase detections, intensity of wavelength modulated sensors. Principles of Rayleigh, Raman and Brillouin scattering and scattering in fibers, and their applications in distributed sensors. Principles of self-phase and cross phase modulation and four wave mixing in fibers, nonlinear fiber effect based demodulation system for fibers, sensors and device characterization. Birefringence and polarization based sensors and instrumentation. This course is equivalent to PHYJ 5331 at Carleton University.

**Course Component:** Lecture

### **PHY 5332 Nonlinear Optics (3 units)**

Nonlinear optical susceptibility; wave equation description of nonlinear optics processes: second harmonic generation, intensity dependent refractive index, sum- and frequency-generation, parametric amplification; quantum mechanical theory of nonlinear optics; Brillouin and Raman scattering; the electro-optic effect; nonlinear fibre optics and solitons. This course is equivalent to PHYJ 5332 at Carleton University.

**Course Component:** Lecture

### **PHY 5333 Mode Locked Lasers (3 units)**

Concept and realization of mode locking. Mode locked lasers including Q-switch. Ultrafast pulse generation and measurement. Soliton generation: dispersion and self-phase modulation. Applications to science and technology. This course is equivalent to PHYJ 5333 at Carleton University.

**Course Component:** Lecture

### **PHY 5340 Computational Physics: Deterministic Methods (3 units)**

Deterministic numerical methods in physics. Interpolation methods. Numerical solutions of Newton's, Maxwell's and Schrodinger's equations. Molecular dynamics. Non-linear dynamics. Numerical solutions of partial differential equations in physics. Finite elements. This course is equivalent to PHYJ 5004 at Carleton University.

**Course Component:** Lecture

Courses PHY 5340, PHY 4340 cannot be combined for units.

### **PHY 5341 Computational Physics: Stochastic Methods (3 units)**

Interpolation, regression and modeling. Random number generation. Monte-Carlo methods. Simulations in thermo-statistics. Fractals, percolation, cellular automata. Stochastic numerical methods. This course is equivalent to PHYJ 5005 at Carleton University.

**Course Component:** Lecture

Courses PHY 5341, PHY 4341 cannot be combined for units.

### **PHY 5342 Computer Simulations in Physics (3 units)**

A course aimed at exploring physics with a computer in situations where analytic methods fail. Numerical solutions of Newton's equations, non-linear dynamics. Molecular dynamics simulations. Monte-Carlo simulations in statistical physics: the Ising model, percolation, crystal growth models. Symbolic computation in classical and quantum physics. This course is equivalent to PHYJ 5003 at Carleton University.

**Course Component:** Lecture

### **PHY 5344 Computational Physics (3 units)**

**Course Component:** Lecture

### **PHY 5347 Physics, Chemistry and Characterization of Mineral Systems (3 units)**

The materials science of mineral systems such as the network and layered silicates. In-depth study of the relations between mineralogically relevant variables such as atomic structure, crystal chemistry, site populations, valence state populations, crystallization conditions, etc. Interpretation and basic understanding of key characterization tools such as microprobe analysis, Mössbauer spectroscopy, x-ray diffraction and optical spectroscopy. This course is equivalent to PHYJ 5509 at Carleton University.

**Course Component:** Lecture

### **PHY 5355 Statistical Mechanics (3 units)**

Ensemble theory. Interacting classical and quantum systems. Phase transitions and critical phenomena. Fluctuations and linear response theory. Kinetic equations. This course is equivalent to PHYJ 5505 at Carleton University.

**Course Component:** Lecture

### **PHY 5361 Nonlinear Dynamics in the Natural Sciences (3 units)**

A multidisciplinary introduction to nonlinear dynamics with emphasis on the techniques of analysis of the dynamic behaviour of physical systems. Basic mathematical concepts underlying nonlinear dynamics, including differential and difference equations, Fourier series and data analysis, stability analysis, Poincaré maps, local bifurcations, routes to chaos and statistical properties of strange attractors. Applications of these concepts to specific problems in the natural sciences such as condensed matter physics, molecular physics, fluid mechanics, dissipative structures, evolutionary systems, etc. This course is equivalent to PHYJ 5102 at Carleton University.

**Course Component:** Lecture

### **PHY 5362 Computational Methods in Material Sciences (3 units)**

Introduction to modern computational techniques used in material science research. Classical molecular dynamics, classical and quantum Monte Carlo methods, plane-wave based electronic band structure calculations, Carr-Parrinello quantum molecular dynamics. Applications to condensed matter systems: basic simulation techniques, force-field based methods in the study of thermodynamic and physical properties of solids, first-principles quantum mechanical methods. This course is equivalent to PHYJ 5006 at Carleton University.

**Course Component:** Lecture

### **PHY 5363 Physical Applications of Fourier Analysis (3 units)**

Fourier transform, convolution. Sampling theorem. Applications to imaging: descriptors of spatial resolution, filtering. Correlation, noise power. Discrete Fourier transform, FFT. Filtering of noisy signals. Image reconstruction in computed tomography and magnetic resonance. Laplace transform. Integral transforms, applications to boundary value problems. This course is equivalent to PHYS 5313 at Carleton University.

**Course Component:** Lecture

### **PHY 5364 Nanotechnology and Modern methods in Biophysics (3 units)**

Modern experimental techniques and nanotechnology used in Biophysics. Topics include biosensors microfluidics, single molecule techniques, DNA sequencing technologies, microfabrication, nanoscale electrokinetics, atomic force microscopy, fluorescence and confocal microscopy, cell chips, etc. Course includes several hands-on experiments. Course open to all graduate students in the faculties of Science and Engineering. This course is equivalent to PHYJ 5364 at Carleton University.

**Course Component:** Lecture

### **PHY 5380 Semiconductor Physics I (3 units)**

Brillouin zones and band theory. E-k diagram, effective mass tensors, etc. Electrical properties of semiconductors. This course is equivalent to PHYJ 5407 at Carleton University.

**Course Component:** Lecture

### **PHY 5381 Semiconductor Physics II: Optical Properties (3 units)**

Optical constants and dispersion theory. Optical absorption, reflection, and band structure. Absorption at band edge and excitons. Lattice, defect and free-carrier absorption. Magneto-optics. Photo-electronic properties, luminescence, detector theory. Experimental methods.

**Course Component:** Lecture

### **PHY 5384 Physics of Fiber Optic Systems (3 units)**

Physics of electromagnetic waves in fiber-optic systems. Laser modulation, chirp effects, noise. Amplitude, frequency and phase modulation. Optical dispersion (chromatic dispersion, polarization mode dispersion and polarization-dependent losses). Fiber losses and non-linear effects. Optical detectors, receivers, signal to noise ratio, power penalties. Overall system design. This course is equivalent to PHYJ 5308 at Carleton University.

**Course Component:** Lecture

### **PHY 5387 Physics of Materials (3 units)**

Microscopic characteristics related to the physical properties of materials. Materials families: metals and alloys, ceramics, polymers and plastics, composites, layered materials, ionic solids, molecular solids, etc. Specific materials groups. Equilibrium phase diagrams and their relation to microstructure and kinetics. Experimental methods of characterization. Interactions and reactions. This course is equivalent to PHYJ 5504 at Carleton University.

**Course Component:** Lecture

### **PHY 5388 Photons and Atoms (3 units)**

Atomic and Molecular structure and transitions, semi-classical light-matter interaction; two level systems time-dependent perturbation theory and Fermi's golden rule; optical Bloch equations; coherent control; optical interactions with three-level systems, electromagnetically induced transparency; optical forces; laser cooling; Bose-Einstein condensation; atoms optics and interferometers; basic quantization of light. This course is equivalent to PHYJ 5388 at Carleton University.

**Course Component:** Lecture

### **PHY 5389 Quantum Theory of Light (3 units)**

Quantum cryptography; entanglement; density operators; Bell's inequalities; quantization of the light field; Lamb shift; Casimir effect; the vacuum; quantum optical states; Photon and homodyne detectors; quasi-probability functions; beam-splitters and other optical transformations; classical and quantum coherence; Hanbury Brown and Twiss effect, Hong-Ou-Mandel interference; quantum nonlinear optics; quantum light-matter interactions; open quantum systems. This course is equivalent to PHYJ 5389 at Carleton University.

**Course Component:** Lecture

### **PHY 5390 Quantum Science and Technology (3 units)**

Interdisciplinary nature of the rapidly advancing field of quantum science and technology. The wide-range of topics include: foundations of quantum mechanics and quantum information, quantum materials, quantum communication, quantum sensing and metrology, quantum computing and simulations. This course is equivalent to PHYJ 5390 at Carleton University.

**Course Component:** Lecture

### **PHY 5391 Quantum Materials, Nanostructures and Devices (3 units)**

Electronic and optical properties of semiconductor nanostructures (quantum wells, wires and dots), topological insulators, and 2D crystals: single particle properties, many-electron description, response functions and computational tools. Applications to single electron transistors, lasers, solar cells, and Majorana quantum circuits. This course is equivalent to PHYJ 5391 at Carleton University.

**Course Component:** Lecture

### **PHY 5392 Introduction to Nanoscience (3 units)**

Nanoscience with photons (ray and wave optics), nanoscience with charged particles (light matter interaction, SEM, TEM), nanoscience with physical probes. This course is equivalent to PHYJ 5392 at Carleton University.

**Course Component:** Lecture

### **PHY 5722 Physique biologique (3 crédits)**

Application des méthodes de la physique à l'étude des phénomènes biologiques. Composantes principales d'une cellule. Concepts physiques pertinents aux phénomènes cellulaires : dynamique brownienne, liquides, suspensions, phénomènes d'origine entropique, forces chimiques et auto-assemblage. Molécules biologiques. Enzymes. Moteurs moléculaires. Impulsions nerveuses. Offert également, avec des exigences différentes, sous la cote PHY 4722. Les cours PHY 4722, PHY 5722 ne peuvent être combinés pour l'obtention de crédits. Ce cours est équivalent à PHYJ 5722 à la Carleton University.

**Volet :** Cours magistral

Exclusion: PHY 4322.

### **PHY 5740 Physique numérique: Méthodes déterministes (3 crédits)**

Méthodes numériques déterministes en physique. Techniques d'interpolation. Solutions numériques des équations de Newton, de Maxwell et de Schrödinger. Dynamique moléculaire. Dynamique non-linéaire. Solutions numériques des équations aux dérivées partielles en physique. Éléments finis. Ce cours est équivalent à PHYJ 5502 à la Carleton University.

**Volet :** Cours magistral

Les cours PHY 5740, PHY 4740 ne peuvent être combinés pour l'obtention de crédits.

### **PHY 5741 Physique numérique: Méthodes stochastiques (3 crédits)**

Interpolations, régression et modélisation de données. Nombres aléatoires. Techniques de Monte-Carlo. Simulations thermo-statistiques. Percolation, fractales et automates cellulaires. Méthodes numériques stochastiques. Ce cours est équivalent à PHYJ 5503 à la Carleton University.

**Volet :** Cours magistral

Les cours PHY 5741, PHY 4741 ne peuvent être combinés pour l'obtention de crédits.

### **PHY 5742 Simulations numériques en physique (3 crédits)**

Un cours ayant pour but d'étudier la physique à l'aide d'un ordinateur dans des situations où les méthodes analytiques sont inadéquates. Solutions numériques des équations de Newton. Dynamique non-linéaire. Simulations de dynamique moléculaire. Simulations Monte-Carlo en physique statistique : modèle d'Ising, percolation, croissance cristalline. Calcul symbolique en physique classique et quantique. Les cours PHY 5742, PHY 5344 ne peuvent être combinés pour l'obtention de crédits. Ce cours est équivalent à PHYJ 5506 à la Carleton University.

**Volet :** Cours magistral

### **PHY 5781 Physique des semi-conducteurs II : Propriétés optiques (3 crédits)**

Constantes optiques et théorie de la dispersion. Absorption optique, réflexion et structure de bandes. Seuil d'absorption et excitons. Absorption due au réseau, aux défauts et aux porteurs libres. Magnéto-optique. Propriétés photo-électroniques, luminescence, théorie des détecteurs. Méthodes expérimentales.

**Volet :** Cours magistral

### **PHY 5804 Introduction to General Relativity (3 crédits)**

Special relativity using tensor analysis. Curved spacetime with physics applications which may include the solar system, stars, black holes, and gravitational waves. Introduction to differential geometry and Einstein's field equations.

**Volet :** Cours magistral

Also offered as PHY 4346 at the undergraduate level with different requirements for which additional credit is precluded.

### **PHY 5922 Advanced Magnetism (3 crédits / 3 units)**

Study of some of the experimental and theoretical aspects of magnetic phenomena found in ferro-, ferri-, antiferro-magnetic and spin glass materials. Topics of current interest in magnetism. This course is equivalent to PHYJ 5507 at Carleton University.

**Volet / Course Component:** Cours magistral / Lecture

### **PHY 5951 Physique de basses températures / Low Temperature Physics II (3 crédits / 3 units)**

Properties of matter at low temperatures. Helium Physics. Thermometry at Low Temperatures. Theory and Technology of Cryogenics Refrigerators. Applied Superconductivity. Recent developments: Cryoelectronic, Quantum Hall Effect. Helium Crystal Growth, Nuclear Magnetic Ordering, Cryogenic Detectors and Polarised Target for High Energy Physics. This course is equivalent to PHYJ 5409 at Carleton University. / Properties of matter at low temperatures. Helium Physics. Thermometry at Low Temperatures. Theory and Technology of Cryogenics Refrigerators. Applied Superconductivity. Recent developments: Cryoelectronic, Quantum Hall Effect. Helium Crystal Growth, Nuclear Magnetic Ordering, Cryogenic Detectors and Polarised Target for High Energy Physics. This course is equivalent to PHYJ 5409 at Carleton University.

**Volet / Course Component:** Cours magistral / Lecture

### **PHY 5966 Physique nucléaire / Experimental Techniques of Nuclear and Elementary Particle Physics (3 crédits / 3 units)**

Ce cours est équivalent à PHYS 5601 à Carleton University. / The interaction of radiation and high energy particles with matter; experimental methods of detection and acceleration of particles; use of relativistic kinematics; counting statistics. This course is equivalent to PHYS 5601 at Carleton University.

**Volet / Course Component:** Cours magistral / Lecture

### **PHY 5967 Physique des particules / Elementary Particle Physics (3 crédits / 3 units)**

Ce cours est équivalent à PHYS 5602 à la Carleton University. / This course is equivalent to PHYS 5602 at Carleton University.

**Volet / Course Component:** Cours magistral / Lecture

### **PHY 6170 Advanced Quantum Mechanics II (3 units)**

Systems of identical particles and many-body theory. Lattice and impurity scattering. Quantum processes in a magnetic field. Radiative and non-radiative transitions. Introduction to relativistic quantum mechanics. This course is equivalent to PHYJ 5703 at Carleton University.

**Course Component:** Lecture

### **PHY 6371 Topics in Mossbauer Spectroscopy (3 units)**

Experimental techniques used to measure Mössbauer spectra. Physics of the Mössbauer effect: recoilless emission/absorption, anisotropic Debye-Waller factors, second order Doppler shifts, etc. Mössbauer lineshape theory with static and dynamic hyperfine interactions. Distributions of static hyperfine parameters. Physics of the hyperfine parameters: origin of the hyperfine field, transferred and supertransferred fields, calculations of electric field gradients, etc. Applications of Mössbauer spectroscopy to various areas of solid state physics and materials science. This course is equivalent to PHYJ 5404 at Carleton University.

**Course Component:** Lecture

### **PHY 6382 Physics of Semiconductor Super Lattices (3 units)**

Fundamental physics of two-dimensional quantized semiconductor structures. Electronic and optical properties of superlattices and quantum wells. Optical and electronic applications. This course is intended for students registered for the Ph.D. in semiconductor physics research. This course is equivalent to PHYJ 6406 at Carleton University.

**Course Component:** Lecture

Prerequisite: Advanced undergraduate or graduate course in solid state physics.

### **PHY 6650 Supraconductivité II (2 crédits)**

**Volet :** Cours magistral

### **PHY 6782 Physique des super-réseaux à semi-conducteurs (3 crédits)**

Physique fondamentale des structures quantiques bi-dimensionnelles à semi-conducteurs. Propriétés électroniques et optiques des super-réseaux et puits quantiques. Applications à l'électronique et à l'optique. Ce cours est destiné aux étudiantes et aux étudiants inscrits au doctorat en physique des semi-conducteurs. Ce cours est équivalent à PHYJ 6407 à la Carleton University.

**Volet :** Cours magistral

Préalable : Cours sénior ou de niveau supérieur en physique de l'état solide.

### **PHY 6999 Project (6 crédits / 6 units)**

Projet en physique dirigé par un professeur approuvé par le directeur des études supérieures et donnant lieu à la rédaction d'un rapport approfondi (30-40 pages approx). Noté S (satisfaisant) ou NS (non satisfaisant) par le directeur du projet et un autre professeur nommé par le directeur des études supérieures en physique. Le projet est normalement complété en une session. / Project in physics supervised by a professor approved by the director of graduate studies and leading to the writing of an in-depth report (approx. 30-40 pages). Graded S (Satisfactory) or NS (Not satisfactory) by the supervisor and by another professor appointed by the director of graduate studies in Physics. The project will normally be completed in one session. Volet / Course Component: Recherche / Research

**Volet / Course Component:** Recherche / Research

### **PHY 8111 Classical Mechanics and Theory of Field (3 units)**

This course is equivalent to PHYS 5101 at Carleton University.

**Course Component:** Lecture

### **PHY 8122 Molecular Spectroscopy (3 units)**

This course is equivalent to PHYS 5202 at Carleton University.

**Course Component:** Lecture

### **PHY 8132 Classical Electrodynamics (3 units)**

Covariant formulation of electrodynamics; Lenard-Wiechert potentials; radiation reaction; plasma physics; dispersion relations. This course is equivalent to PHYS 5302 at Carleton University.

**Course Component:** Lecture

### **PHY 8164 Intermediate Nuclear Physics (3 units)**

This course is equivalent to PHYS 5604 at Carleton University.

**Course Component:** Lecture

### **PHY 8165 Particle Physics Phenomenology (3 units)**

This course is equivalent to PHYS 6601 at Carleton University.

**Course Component:** Lecture

### **PHY 8166 Advanced Topics in Particle Physics Phenomenology (3 units)**

This course is equivalent to PHYS 6602 at Carleton University.

**Course Component:** Lecture

### **PHY 8172 Relativistic Quantum Mechanics (3 units)**

This course is equivalent to PHYS 5702 at Carleton University.

**Course Component:** Lecture

### **PHY 8173 Quantum Electrodynamics (3 units)**

This course is equivalent to PHYS 6701 at Carleton University.

**Course Component:** Lecture

### **PHY 8191 Selected Topics in Physics (3 units)**

This course is equivalent to PHYS 5901 at Carleton University.

**Course Component:** Lecture

### **PHY 8192 Selected Topics in Physics (1.5 unit)**

Topics of current interest in Physics. Variable content year to year.

**Course Component:** Lecture

### **PHY 8260 Advanced Nuclear Physics (6 units)**

**Course Component:** Lecture

### **PHY 8290 Selected Topics in Physics (MSc) (6 units)**

This course is equivalent to PHYS 5900 at Carleton University.

**Course Component:** Lecture

### **PHY 8391 Selected Topics in Physics (PhD) (3 units)**

This course is equivalent to PHYS 6901 at Carleton University.

**Course Component:** Lecture

### **PHY 8490 Selected Topics in Physics (PhD) (6 units)**

This course is equivalent to PHYS 6900 at Carleton University.

**Course Component:** Lecture

### **PHY 9998 Examen de synthèse (Doctorat) / Comprehensive Examination (PhD)**

**Volet / Course Component:** Recherche / Research