

Fakultät NT – Naturwissenschaftlich-Technische Fakultät
Masterstudiengang Physik

Modul Nichtlineare Optik					Abk. NLO
Studiensem. 2,4	Regelstudiensem. 4	Turnus Sommersemester	Dauer 1 Semester	SWS 4	ECTS-Punkte 5

Modulverantwortlicher	Priv.-Doz. Dr. rer. nat. Martin Straub
Dozent	Priv.-Doz. Dr. rer. nat. Martin Straub
Zuordnung zum Curriculum	Experimentelle physikalische Wahlpflicht-Lehrveranstaltung der Bachelor- und Masterstudiengänge Physik, Biophysik, Quantum Engineering, Systems Engineering sowie Materialwissenschaften und Werkstofftechnik
Zulassungsvoraussetzungen	Keine formalen Voraussetzungen
Leistungskontrollen / Prüfungen	Klausur oder mündliche Prüfung
Lehrveranstaltungen / SWS	3 SWS Vorlesung, 1 SWS Seminar
Arbeitsaufwand	45 h Vorlesung, 45 h Vor- und Nachbereitung, 15 h Seminar, 45 h Vorbereitung des Seminarvortrags
Modulnote	Note der Prüfung

Lernziele/Kompetenzen

- Vertiefte Kenntnisse von Grundlagen (Experimente, Theorie) und Anwendungen nichtlinearer Optik
- Verständnis grundlegender Unterschiede zwischen linearer und nichtlinearer Optik
- Kenntnis in der linearen Optik nicht existenter optischer Effekte und ihrer technischen Bedeutung
- Verständnis der Rolle nichtlinearer Optik in wichtigen Anwendungsgebieten wie optische Telekommunikation, hochauflösende Mikroskopie und Lithographie sowie Lasertechnologie
- Beherrschung der klassischen, semi-klassischen und teilweise auch quantenelektrodynamischen Behandlung nichtlinear-optischer Prozesse
- Eigenständige Erarbeitung und Präsentation aktueller nichtlinear-optischer Forschungsthemen

Inhalt

Wellenausbreitung und Wellenkopplung in nichtlinearen Medien; nichtlineare Suszeptibilitäten, ihre quantenphysikalische Darstellung und Symmetrien, Snellius-Gesetz der nichtlinearen Optik, Lichtfelder an Grenzflächen nichtlinearer Medien. Elektro- und magneto-optische Effekte, optische Frequenzverdopplung und höhere Harmonische, Summen und Differenzfrequenzerzeugung, parametrische Verstärkung und Oszillation, stimulierter Ramaneffekt, Zwei- und Multiphotonen-Absorption. Nichtlinear-optische Spektroskopie: Quantum Beats, Sättigungsspektroskopie, dopplerfreie Zwei-Photonen-Absorptionsspektroskopie, Ramsey-Fringes. Vier-Wellen-Mischung, CARS, phasenkonjugierte Spiegel. Optisch induzierte Doppelbrechung, Kerr-Effekte, optische Bistabilität, Selbstfokussierung und Selbstphasenmodulation. Transiente optische Effekte: Optische Bloch-Gleichung, transiente Nutation, freier Induktionszerfall, Photonenechos, adiabatische Besetzungsinversion, selbstinduzierte Transparenz, Superfluoreszenz. Starke Licht-Materie Wechselwirkung. Laserisotopentrennung, Einzelmolekülspektroskopie. Nichtlineare Optik von Oberflächen, in Wellenleitern und Plasmen.

Weitere Informationen: Vorlesungsfolien in englischer Sprache

Unterrichtssprache: Deutsch, auf Wunsch Englisch

Literaturhinweise: [1] Y. R. Shen, **The Principles of Nonlinear Optics**, Wiley, 2003. [2] R. W. Boyd, **Nonlinear Optics**, Elsevier, 2008. [3] Y. V. G. S. Murti, C. Vijayan, **Physics of Nonlinear Optics**, 2nd ed., Springer, 2021. [4] G. New, **Introduction to Nonlinear Optics**, Cambridge University Press, 2011. [5] G. Agrawal, **Nonlinear Fiber Optics**, Elsevier, 2012. [6] M. Wegener, **Extreme Nonlinear Optics**, Springer, 2004. [7] Speziellere aktuelle Fachbücher, Übersichtsartikel und Publikationen.

Fakultät NT – Naturwissenschaftlich-Technische Fakultät
Masterstudiengang Physik

Modul Nonlinear Optics					Abk. NLO
Term number 2,4	Length of study 4 terms	Term Summer term	Duration 1 term	SWS 4	ECTS Score 5

Person in charge of module Priv.-Doz. Dr. rer. nat. Martin Straub

Lecturer Priv.-Doz. Dr. rer. nat. Martin Straub

Allocation to curriculum **Experimental Physics Optional Module for Bachelor and Master students of Physics, Biophysics, Quantum Engineering, Systems Engineering and Materials Science**

Admission requirements No formal admission requirements

Assessments / Examination Written test or oral exam

Weekly lessons (SWS = 45 min) 3 SWS Lecture, 1 SWS Seminar

Amount of work involved (total) Lecture: 45 hours, preparation and learning: 45 hours
Seminar: 15 hours, preparation of presentation: 45 hours

Module grade Overall mark of the examination

Learning targets / Core competencies

- In-depth knowledge of basics (experiments, theory) and applications of nonlinear optics
 - Comprehension of fundamental differences between linear and nonlinear optics
 - Knowledge of optical effects not existing in linear optics and their technical significance
 - Insight into the role of nonlinear optics in important fields of applications such as optical telecommunication, high-resolution optical microscopy and lithography as well as laser technology
- Familiarness with the classical, semi-classical and, in part, also the quantum-electrodynamic treatment of nonlinear-optical processes and efficient usage of these formalisms.
- Individual exploration and presentation of current nonlinear-optical research topics

Topics / Contents

Wave propagation and wave coupling in nonlinear media. Nonlinear susceptibilities, their quantum-physical representation and symmetries. Snellius law of nonlinear optics, light fields at boundaries of nonlinear media. Electro- and magneto-optical effects, second harmonic generation and higher harmonics, sum and difference frequency generation, parametric amplification and oscillation. Stimulated Raman effect, two- and multiphoton absorption. Nonlinear-optical spectroscopy: Quantum beats, saturation spectroscopy, Doppler-free two-photon absorption spectroscopy, Ramsey fringes. Four-wave-mixing, coherent anti-Stokes Raman spectroscopy, phase-conjugate mirrors. Optically induced birefringence, Kerr effects, optical bistability, self-focusing and self-phase modulation. Transient optical effects: Optical Bloch equation, transient nutation, free induction decay, photon echos, adiabatic population inversion, self-induced transparency, superfluorescence. Strong light-matter interaction. Laser isotope separation, single-molecule spectroscopy. Nonlinear optics of surfaces, in waveguides and plasmas.

Additional information: Transparencies in English language

Working language: German, English (as desired)

Literature: [1] Y. R. Shen, **The Principles of Nonlinear Optics**, Wiley, 2003. [2] R. W. Boyd, **Nonlinear Optics**, Elsevier, 2008. [3] Y. V. G. S. Murti, C. Vijayan, **Physics of Nonlinear Optics**, 2nd ed., Springer, 2021. [4]. G. New, **Introduction to Nonlinear Optics**, Cambridge University Press, 2011. [5] G. Agrawal, **Nonlinear Fiber Optics**, Elsevier, 2012. [6] M. Wegener, **Extreme Nonlinear Optics**, Springer, 2004. [7] Further topical textbooks, reviews and journal articles as required.