



Modulhandbuch

zu Physik (M.Sc.) und Physics (M.Sc.)
der Universität Hamburg

Pflichtmodule (Compulsory modules):	7
Introductory Project / Einarbeitungsprojekt	7
Preparatory Project / Vorbereitungsprojekt	8
Master's Thesis / Masterarbeit	10
Wahlmodule (Complementary subject):	11
Wahlbereich	11
Fachliche Vertiefungsphase (Advanced Master's Courses):	13
Astronomie und Astrophysik (Astronomy and Astrophysics):	13
Laborastrophysik	13
Astronomische Beobachtungsmethoden und -instrumente	14
Cosmology	15
Seminar Topics in Low Frequency Radio Astronomy	16
Extragalactic Astrophysics	16
Seminar Extragalactic Astrophysics	17
Galaxy Evolution	18
Seminar on Galaxy Evolution	19
Chemical Evolution of the Universe	20
Computational Astrophysics	21
Stellar Structure & Evolution	22
Theory and Application of PHOENIX	24
Stellar and Planetary Atmospheres	24
MHD simulations with the FLASH code	25
The Interstellar Medium and Star Formation	26
Introduction to General Relativity and Astrophysical Applications	28
Beschleuniger- und Elementarteilchenphysik (Accelerator and elementary particle physics):	29
Accelerator Physics II	29
Experimental Astroparticle Physics	31
Accelerator Physics I	32
Physik und Anwendungen von Laser-Plasma-Beschleunigern: Von medizinischer Bildgebung bis Hochenergiephysik	34
Teilchenphysik und der Large Hadron Collider (LHC): Beschleuniger, Detektoren und Physik	35
Quantenmechanik II	37
Physics of the Standard Model	38

Introduction to Supersymmetry and Supergravity _____	39
Quantenfeldtheorie I _____	40
Quantenfeldtheorie II _____	42
Theory of General Relativity _____	44
Introduction to String Theory _____	45
Phenomenology of Physics beyond the Standard Model _____	46
Quantum Chromodynamics (Advanced Topic in Particle Physics) _____	48
Introduction to Conformal Field Theory _____	49
Computer Algebra and Particle Physics _____	50
Biomedizinische Physik (Biomedical physics): _____	51
Biomedical Physics I _____	51
Biomedical Physics II _____	52
Biomedical Physics III _____	54
Biomedical Physics IV _____	55
Seminar on Biomedical Physics I _____	57
Festkörper- und Nanostrukturphysik (Solid state and nanostructure physics): _____	58
Advanced Solid State Lecture _____	58
Nanostructure Physics I _____	60
Nanostrukturphysik II: Oberflächenphysik und Magnetismus _____	61
Nanostrukturphysik IV - Energiematerialien und Nanobiotechnologie _____	63
Advanced Methods for Surface and Nanostructure Characterization _____	65
Seminar über Nahfeldgrenzflächenphysik und Nanotechnologie _____	67
Bio- and Nanointerfaces _____	68
X-Ray Analytics and Microscopy in Nanoscience _____	70
Die Kunst der Computer-basierten Modellierung und Simulation experimenteller Daten _____	71
Quantentransport und experimentelle Quantenphysik _____	73
Modern Scattering Methods in Nanomaterial Science _____	75
Methods in Nanobiotechnology II _____	77
Fundamentals of Photovoltaics _____	78
Complex Materials _____	79
Wahlpflichtpraktikum Physik _____	80
Methods in Nanobiotechnology I _____	81
Nonequilibrium Statistics and Transport Theory _____	83
Theorie der kondensierten Materie I _____	84

Seminar on Selected Topics of the Quantum Theory of Condensed Matter	85
Seminar on Many-Body Theory and Quantum-Statistical Methods	86
Seminar on Quantum Dynamics of Nonequilibrium Nano Systems	87
Quantum Statistics with Path Integrals	87
Symmetry Groups in Physics	88
Condensed-Matter Theory: Special Topics	90
Laserphysik und Photonik (Laser physics and photonics):	91
Methoden moderner Röntgenphysik I - Spektroskopie	91
Moderne Molekülphysik – Clusterphysik	92
Einführung in die Physik der Quantengase	94
Methoden moderner Röntgenphysik II - Struktur und Dynamik kondensierter Materie	95
Ultrafast Optical Physics I	97
Modern Molecular Physics	98
Ultrafast Optical Physics II	99
Light-Matter-Interactions: Atoms, Molecules & (Non) Linear Optics	100
Ultrakalte Quantengase	101
Nonlinear Optics	103
Nichtklassisches Licht und die zentralen Konzepte der modernen Quantenphysik	104
New Experiments with XFEL Sources	105
Seminar: Many-body Theory of Ultracold Atoms and Solid State Systems	106
Theory of Photon-Matter Interactions	107

Die nachfolgenden, detaillierten Modulbeschreibungen sind wie folgt strukturiert:

The following detailed module descriptions are structured as follows:

Modultitel	
Modulnummer/-kürzel	PHY-MV-...
Semester	Wintersemester/Sommersemester
Verwendbarkeit, Modultyp und Zuordnung zum Curriculum <i>Applicability, module type and assignment to the curriculum</i>	<ul style="list-style-type: none"> • Physics M.Sc.: Wahlpflichtmodul • ...
Voraussetzungen für die Teilnahme <i>Requirements for participation</i>	<p>Verbindlich: <i>Binding:</i></p> <p>Empfohlen: <i>Recommended:</i></p>
Modulverantwortliche/r <i>Responsible for the module</i>	
Lehrende <i>Lecturer</i>	
Sprache <i>Language</i>	Welche Unterrichtssprache? Deutsch oder Englisch? <i>Which language of instruction? German or English?</i>
Qualifikationsziele <i>Qualification objectives</i>	<p>Welche Lernergebnisse sollen Studierende nach erfolgreichem Abschluss des Moduls erreicht haben?</p> <p>z. B. im Sinne von:</p> <ul style="list-style-type: none"> - Lernergebnisse, die Wissen oder Anwenden nachweisen: z.B. definieren/ darstellen/ messen/ berichten/ bewerten von Information, Theorie- und/oder Faktenwissen - Lernergebnisse, die die praktischen Fertigkeiten, bei denen Kenntnisse (Wissen) eingesetzt werden, nachweisen: z.B. ausführen, demonstrieren etc. <p><i>What learning outcomes should students have achieved after successfully have achieved after successful completion of the module?</i></p> <p><i>z. e.g. in the sense of:</i></p> <ul style="list-style-type: none"> - <i>Learning outcomes that demonstrate knowledge or application: e.g. define/ represent/ measure/ report/ evaluate information, theory and/or factual knowledge.</i> - <i>Learning outcomes that demonstrate the practical skills using knowledge: e.g. perform, demonstrate, etc.</i>
Inhalt <i>Content</i>	<p>Der (Lehr)inhalt sollte die Ziele des Moduls benennen. (Welche fachlichen, methodischen, fachpraktischen und fächerübergreifenden Inhalte sollen vermittelt werden, damit die Modulziele erreicht werden?)</p> <p><i>The (teaching) content should state the aims of the module. (Which subject-specific, methodical, practical and interdisciplinary contents should be taught in order to achieve the module objectives?)</i></p>

<p>Lehrveranstaltungen und Lehrformen <i>Courses and teaching methods</i></p> <p>V= Vorlesung (<i>lecture</i>) Ü= Übung (<i>exercises</i>) S= Seminar (<i>seminar</i>) P= Praktikum (<i>laboratory, practical</i>)</p>	<p>Wie viele SWS für V und/oder Ü und/oder S und/oder P?</p> <ul style="list-style-type: none"> • (V) • (Ü) • ... 				<p>SWS <i>(hours)</i> SWS</p>
<p>Arbeitsaufwand* (Teilleistungen und insgesamt) <i>Workload*</i> <i>(partial performances and total)</i></p> <p><i>LP = credit points</i></p> <p>*P = Präsenzstudium *S = Selbststudium *PV = Prüfungsvorbereitung</p> <p><i>*P = Attendance study</i> <i>*S = Self-study</i> <i>*PV = Exam preparation</i></p>	<ul style="list-style-type: none"> • 	LP	P (Std)	S (Std)	PV (Std)
	<p>Gesamtaufwand <i>Total expenditure</i></p>				
<p>Studien-/Prüfungsleistungen <i>Study/examination achievements</i></p>	<p>Prüfungsart: Klausur oder mdl. Prüfung oder Referat und/oder schriftliche Ausarbeitung, Projektabschluss, Praktikumsabschluss, ... Sprache der Prüfung: <i>Type of examination: Written or oral examination or presentation and/or written paper, project completion, internship completion, ...</i> <i>Language of the examination</i></p>				
<p>Dauer <i>Duration</i></p>	<p>1 Semester</p>				
<p>Häufigkeit des Angebots <i>Frequency of the course</i></p>	<p>Jedes Semester, jährlich oder alle 4 Semester? <i>Every semester, annually or every 4 semesters?</i></p>				
<p>Literatur <i>Literature</i></p>					

Pflichtmodule (Compulsory modules):

Modultitel	Introductory Project / Einarbeitungsprojekt
Modulnummer/-kürzel	PHY-MF-A/BE/BP/FN/LP-EP
Semester	Wintersemester und Sommersemester
Verwendbarkeit, Modultyp und Zuordnung zum Curriculum	<ul style="list-style-type: none"> • Physik (M.Sc.): Pflichtmodul • Physics (M.Sc.): Pflichtmodul
Voraussetzungen für die Teilnahme	Verbindlich: s. FSBs zu § 4 Empfohlen:
Modulverantwortliche/r	Mitglieder aus der Gruppe der Hochschullehrer:innen des Fachbereichs Physik
Lehrende	Mitglieder des Lehrkörpers aus dem Fachbereich Physik
Sprache	Deutsch oder Englisch
Qualifikationsziele	<p>Im Einarbeitungsprojekt ist das Studium eines modernen Forschungsgebietes vertieft worden, aus dem das Thema der Masterarbeit stammen soll, mit dem Ziel der Einarbeitung in die wissenschaftliche Literatur auf dem aktuellen Stand.</p> <p>Die oder der Studierende erlernt das selbstständige Sammeln nötiger Informationen, von Hintergrundwissen und die Einarbeitung in ein Spezialthema.</p> <p>Für dieses Modul ist die oder der Studierende in eine wissenschaftliche Arbeitsgruppe eingebunden. Durch die Einbindung eine Arbeitsgruppe lernt sie oder er Gruppenarbeit und das optimale Nutzen informellen Wissens im Nahfeld.</p> <p><i>In the familiarisation project, the study of a modern research field, from which the topic of the Master's thesis is to originate, has been deepened with the aim of familiarising oneself with the scientific literature at the current level.</i></p> <p><i>The student learns how to independently collect the necessary information, background knowledge and familiarisation with a special topic.</i></p> <p><i>For this module, the student is integrated into a scientific working group. Through the involvement in a working group, he or she learns group work and the optimal use of informal knowledge in a close-knit environment.</i></p>
Inhalt	<ul style="list-style-type: none"> • Einarbeitung in das Themengebiet; • Einarbeitung in die theoretischen und/oder experimentellen Arbeitstechniken und Hilfsmittel; • Bearbeitung von Teilaspekten; • Formulierung eines Arbeits- und Zeitplans. <p><i>- Familiarisation with the subject area;</i></p> <p><i>- Familiarisation with theoretical and/or experimental working techniques and tools;</i></p> <p><i>- Working on partial aspects;</i></p> <p><i>- Formulation of a work plan and time schedule.</i></p>

Lehrveranstaltungen und Lehrformen	<ul style="list-style-type: none"> Selbstständige wissenschaftliche Arbeit unter Anleitung 				15 SWS
Arbeitsaufwand (Teilleistungen und insgesamt)	<ul style="list-style-type: none"> Selbstständige wissenschaftliche Arbeit unter Anleitung 	LP 15	P (Std) -	S (Std) 390	PV (Std) 60
	Gesamtaufwand	15	-	390	60
Studien-/Prüfungsleistungen	Prüfungsart: Projektabschluss <i>project completion</i> Sprache der Prüfung: Physik (M.Sc.): Deutsch oder Englisch Physics (M.Sc.): Englisch				
Dauer	1 Semester				
Häufigkeit des Angebots	jedes Semester				
Literatur	Wird in der Veranstaltung bekannt gegeben.				

Modultitel	Preparatory Project / Vorbereitungsprojekt
Modulnummer/-kürzel	PHY-MF-A/BE/BP/FN/LP-VP
Semester	Wintersemester und Sommersemester
Verwendbarkeit, Modultyp und Zuordnung zum Curriculum	<ul style="list-style-type: none"> Physik (M.Sc.): Pflichtmodul Physics (M.Sc.): Pflichtmodul
Voraussetzungen für die Teilnahme	Verbindlich: Erfolgreiches Absolvieren des Moduls Introductory Project Empfohlen:
Modulverantwortliche/r	Mitglieder aus der Gruppe der Hochschullehrer:innen des Fachbereichs Physik
Lehrende	Mitglieder des Lehrkörpers aus dem Fachbereich Physik
Sprache	Deutsch oder Englisch
Qualifikationsziele	<p>Mit der Bearbeitung vorbereitender Aufgabenstellungen hat sich die oder der Studierende die speziellen experimentellen und/oder theoretischen Methoden und die Kenntnis des Gebietes soweit erarbeitet, dass sie oder er sie zur Bearbeitung von Fragestellungen, aus dem das Thema der Masterarbeit stammen soll, erfolgreich anwenden kann. Planung und Strukturierung des vorgesehenen Forschungsprojektes.</p> <p>Das dazugehörige Arbeitsgruppenseminar dient der Einarbeitung in Problemstellungen der aktuellen Forschung in dem Fach, in dem die Kandidatin oder der Kandidat die Masterarbeit durchzuführen beabsichtigt. Für dieses Modul ist die oder der Studierende in eine wissenschaftliche Arbeitsgruppe eingebunden. Durch die Einbindung in eine Arbeitsgruppe lernt sie oder er Gruppenarbeit und das optimale Nutzen informellen Wissens im Nahfeld.</p> <p><i>By working on preparatory tasks, the student has acquired the specific experimental and/or theoretical methods and knowledge of the field to such an extent that he or</i></p>

	<p><i>she can successfully apply them to work on questions from which the topic of the Master's thesis is to originate. Planning and structuring of the intended research project.</i></p> <p><i>The associated working group seminar serves to familiarise the student with problems of current research in the subject in which the candidate intends to conduct the Master's thesis.</i></p> <p><i>For this module, the student is integrated into a scientific working group. Through the involvement in a working group, he or she learns group work and the optimal use of informal knowledge in a close-knit environment.</i></p>				
Inhalt	<p>Einführung in das wissenschaftliche Arbeiten und die fachlichen und methodischen Grundlagen für die Masterarbeit sowie Planung des in der Masterarbeit zu bearbeitenden Forschungsprojekts.</p> <p>Erwerb der notwendigen experimentellen bzw. theoretisch-mathematischen Fähigkeiten, die Voraussetzung für die erfolgreiche Absolvierung der Forschungsaufgabe der sich anschließenden Masterarbeit sind.</p> <p>Im Arbeitsgruppenseminar werden verschiedene Themen des Arbeitsgebietes der Arbeitsgruppe vorgetragen und diskutiert. Ein Vortrag (vorzugsweise in englischer Sprache) ist für alle Studierenden Pflicht.</p> <p>Das Modul bildet mit dem vorangegangenen Modul Einarbeitungsprojekt und dem anschließenden Modul Masterarbeit eine inhaltlich untrennbare Einheit und muss daher in dem gleichen Forschungsschwerpunkt belegt werden, in der auch die Masterarbeit geschrieben werden soll.</p> <p><i>Introduction to scientific work and the subject-specific and methodological basics for the Master's thesis as well as planning of the research project to be worked on in the Master's thesis.</i></p> <p><i>Acquisition of the necessary experimental and theoretical-mathematical skills, which are a prerequisite for the successful completion of the research task of the subsequent Master's thesis.</i></p> <p><i>In the working group seminar, various topics of the working group's field of work are presented and discussed. A presentation (preferably in English) is compulsory for all students.</i></p> <p><i>The module forms an inseparable unit with the preceding module "familiarisation project" and the subsequent module "master's thesis" and must therefore be taken in the same research area in which the master's thesis is to be written.</i></p>				
Lehrveranstaltungen und Lehrformen	<ul style="list-style-type: none"> • Selbstständige wissenschaftliche Arbeit unter Anleitung 				15 SWS
Arbeitsaufwand (Teilleistungen und insgesamt)	<ul style="list-style-type: none"> • Selbstständige wissenschaftliche Arbeit unter Anleitung 	LP 15	P (Std) -	S (Std) 390	PV (Std) 60
	Gesamtaufwand	15	-	390	60
Studien-/Prüfungsleistungen	<p>Studienleistung: Projektabschluss <i>project completion</i></p> <p>Prüfungsart: Vortrag/Kolloquium</p> <p>Sprache der Prüfung:</p> <p>Physik (M.Sc.): Deutsch oder Englisch</p> <p>Physics (M.Sc.): Englisch</p>				
Dauer	1 Semester				
Häufigkeit des Angebots	jedes Semester				
Literatur	Wird in der Veranstaltung bekannt gegeben.				

Modultitel	Master's Thesis / Masterarbeit
Modulnummer/-kürzel	PHY-MF-MA
Semester	Wintersemester und Sommersemester
Verwendbarkeit, Modultyp und Zuordnung zum Curriculum	<ul style="list-style-type: none"> • Physik (M.Sc.): Pflichtmodul • Physics (M.Sc.): Pflichtmodul
Voraussetzungen für die Teilnahme	Verbindlich: Erfolgreiches Absolvieren des Moduls Vorbereitungsprojekt Empfohlen:
Modulverantwortliche®	Mitglieder aus der Gruppe der Hochschullehrer:innen des Fachbereichs Physik
Lehrende	Mitglieder des Lehrkörpers aus dem Fachbereich Physik
Sprache	Deutsch oder Englisch
Qualifikationsziele	<p>Die Masterarbeit soll zeigen, dass die Kandidatin oder der Kandidat in der Lage ist, sich innerhalb der vorgegebenen Frist in eine Problemstellung der aktuellen Forschung in dem Fach einzuarbeiten, geeignete wissenschaftliche Methoden zunehmend selbstständig anzuwenden und die Ergebnisse in wissenschaftlich angemessener Form darzustellen.</p> <p><i>The Master's thesis should show that the candidate is able to familiarise himself/herself with a problem of current research in the subject within the given time limit, to apply suitable scientific methods increasingly independently and to present the results in a scientifically appropriate form.</i></p>
Inhalt	<p>Die Masterarbeit bildet den Abschluss des Masterstudiums.</p> <p>Die Masterarbeit besteht aus</p> <ul style="list-style-type: none"> • der Durchführung eines Forschungs- bzw. wissenschaftlichen Entwicklungsprojekts; • experimenteller und/oder theoretischer Bearbeitung des Themas; • der Auswertung und der Aufbereitung der Ergebnisse; • der schriftlichen Dokumentation der Ergebnisse durch Abfassen der Masterarbeit; • einer mündlichen Präsentation der Ergebnisse in einem Vortrag und wissenschaftliche Diskussion. <p>Die Ergebnisse sollen in der Regel zu einer wissenschaftlichen Publikation beitragen.</p> <p><i>The master's thesis forms the conclusion of the master's programme.</i></p> <p><i>The Master's thesis consists of</i></p> <ul style="list-style-type: none"> - <i>the implementation of a research or scientific development project;</i> - <i>experimental and/or theoretical treatment of the topic;</i> - <i>the evaluation and processing of the results;</i> - <i>the written documentation of the results by writing the Master's thesis;</i> - <i>an oral presentation of the results in a lecture and scientific discussion.</i> <p><i>The results should contribute to a scientific publication.</i></p>

Lehrveranstaltungen und Lehrformen	<ul style="list-style-type: none"> Selbstständige wissenschaftliche Arbeit im Team 				30 SWS
Arbeitsaufwand (Teilleistungen und insgesamt)	<ul style="list-style-type: none"> Selbstständige wissenschaftliche Arbeit im Team 	LP 30	P (Std) -	S (Std) 830	PV (Std) 70
	Gesamtaufwand	30	-	830	70
Studien-/Prüfungsleistungen	Prüfungsart: Masterarbeit (5/6), Kolloquium (1/6) <i>master's thesis (1/6), colloquium (1/6)</i> Sprache der Prüfung: Physik (M.Sc.): Deutsch oder Englisch Physics (M.Sc.): Englisch				
Dauer	1 Semester				
Häufigkeit des Angebots	jedes Semester				
Literatur	Wird in der Veranstaltung bekannt gegeben.				

Wahlmodule (Complementary subject):

Modultitel:	Wahlbereich
Modulnummer/-kürzel:	WAHL (je nach anbietendem Fach)
Semester	Sommersemester, Wintersemester
Verwendbarkeit, Modultyp und Zuordnung zum Curriculum	Physik (B.Sc.); Physik (M.Sc.); Physics (M.Sc.): Wahlmodul
Voraussetzungen für die Teilnahme:	Nach Maßgabe des anbietenden Faches.
Modulverantwortliche/r:	Mitglieder des Lehrkörpers aus dem anbietenden Fach
Lehrende:	Mitglieder des Lehrkörpers aus dem anbietenden Fach
Sprache:	Nach Maßgabe des anbietenden Faches.
Qualifikationsziele	Die Studierenden haben grundsätzliche Kenntnisse wahlweise in Astrophysik und Astronomie, Biomedical Physics oder einem Fachgebiet außerhalb der Physik. <i>Students have basic knowledge of either astrophysics and astronomy, biomedical physics or a subject area outside physics.</i>
Inhalt:	Es gibt keinerlei Einschränkungen bei der Wahl des Fachgebietes, die Studierenden sollen ihren Neigungen und Interessen folgen. Festgelegt ist nur der zeitliche Aufwand für den Wahlbereich (12 Leistungspunkte).

	<p>Die Leistungspunktzahl kann durch Kombination verschiedener Module erreicht werden, die in einem sinnvollen Zusammenhang stehen müssen.</p> <p><i>There are no restrictions on the choice of subject area; students should follow their inclinations and interests.</i></p> <p><i>Only the time required for the elective area (12 credit points) is fixed.</i></p> <p><i>The number of credit points can be achieved by combining different modules, which must be meaningfully related.</i></p>				
Lehrveranstaltungen und Lehrformen:	<ul style="list-style-type: none"> Nach Maßgabe des Anbieters (V, Ü, S, P) 				
Arbeitsaufwand* (Teilleistungen und insgesamt)	<ul style="list-style-type: none"> Nach Maßgabe des Anbieters (V, Ü, S, P) 	LP	P (Std)	S (Std)	PV (Std)
		12
	Gesamtaufwand	12
Studien-/Prüfungsleistungen	<ul style="list-style-type: none"> Nach Maßgabe des Anbieters. <p><i>According to the offering department.</i></p>				
Dauer	1 Semester				
Häufigkeit des Angebots	Nach Maßgabe des Anbieters.				
Literatur:	Wird in den Veranstaltungen bekannt gegeben.				

Fachliche Vertiefungsphase (Advanced Master's Courses):

Astronomie und Astrophysik (Astronomy and Astrophysics):

Modultitel	Laborastrophysik				
Modulnummer/-kürzel	PHY-MV-A-E02				
Semester	Wintersemester und Sommersemester				
Verwendbarkeit, Modultyp und Zuordnung zum Curriculum	<ul style="list-style-type: none"> • Physik (M.Sc.): Wahlpflichtmodul • Physics (M.Sc.): Wahlpflichtmodul 				
Voraussetzungen für die Teilnahme	Verbindlich: keine Empfohlen: keine				
Modulverantwortliche/r	Prof. Dr. Günter Wiedemann				
Lehrende	Prof. Dr. Günter Wiedemann				
Sprache	Deutsch oder Englisch				
Qualifikationsziele	<p>Die Studierenden kennen die Laborphysik als Fundament der beobachtenden Astrophysik. So haben sie die Fähigkeit zur Definition von notwendigen Laborexperimenten durch Umsetzung der Anforderung aus der beobachtenden Astronomie sowie Planung und Durchführung von astrophysikalisch relevanten Messungen im HS Labor als auch zur Gewinnung und Bewertung von astrophysikalisch relevanten Messdaten unter realistischen Bedingungen.</p> <p><i>The students know laboratory physics as the foundation of observational astrophysics. Thus, they have the ability to define necessary laboratory experiments by implementing the requirements of observational astronomy as well as planning and carrying out astrophysically relevant measurements in the HS laboratory and to obtain and evaluate astrophysically relevant measurement data under realistic conditions.</i></p>				
Inhalt	<p>Einführung in Laborbetrieb & Ausstattung; Methoden der Laborastrophysik; Definition und Planung eines Messexperiments; Vorbereitung und Durchführung, Auswertung und Interpretation.</p> <p><i>Introduction to laboratory operation & equipment; methods of laboratory astrophysics; definition and planning of a measurement experiment; preparation and execution, evaluation and interpretation.</i></p>				
Lehrveranstaltungen und Lehrformen	<ul style="list-style-type: none"> • Laborastrophysik (V) • Übungen zur Laborastrophysik (Ü) 			2 SWS	2 SWS
Arbeitsaufwand (Teilleistungen und insgesamt)		LP	P (Std)	S (Std)	PV (Std)
	<ul style="list-style-type: none"> • Vorlesung • Übung 	3	28	32	30
	Gesamtaufwand	5	56	64	30
Studien-/Prüfungsleistungen	<p>Prüfungsart: Kolloquium Sprache der Prüfung: Deutsch oder Englisch Abweichungen werden zu Beginn der Veranstaltung bekannt gegeben.</p>				

Dauer	1 Semester
Häufigkeit des Angebots	jedes Semester
Literatur	Wird in der Veranstaltung bekannt gegeben.

Modultitel	Astronomische Beobachtungsmethoden und -instrumente				
Modulnummer/-kürzel	PHY-MV-A-E12				
Semester	Wintersemester und Sommersemester				
Verwendbarkeit, Modultyp und Zuordnung zum Curriculum	<ul style="list-style-type: none"> • Physik (M.Sc.): Wahlpflichtmodul • Physics (M.Sc.): Wahlpflichtmodul 				
Voraussetzungen für die Teilnahme	Verbindlich: keine Empfohlen: keine				
Modulverantwortliche/r	Prof. Dr. Günter Wiedemann				
Lehrende	Prof. Dr. Günter Wiedemann				
Sprache	Deutsch oder Englisch				
Qualifikationsziele	<p>Die Studierenden kennen die wichtigsten astronomischen Beobachtungsmethoden und Instrumente, moderner IR/optischer Technologien und die Wechselwirkungen zwischen astronomischer Forschung und sowohl technischer als auch experimenteller Grundlagen.</p> <p><i>The students know the most important astronomical observation methods and instruments, modern IR/optical technologies and the interactions between astronomical research and both technical and experimental basics.</i></p>				
Inhalt	<p>Grundlagen der beobachtenden Astronomie; Methoden (Photometrie, Spektroskopie, Astrometrie etc.); Instrumente (Teleskope, Messinstrumente, Detektoren); Anwendungen in der beobachtenden Astrophysik; praktische Übungen. Durchführung des praxisnahen Teils in der Sternwarte (Bergedorf) möglich.</p> <p><i>Basics of observational astronomy; methods (photometry, spectroscopy, astrometry etc); instruments (telescopes, measuring instruments, detectors); applications in observational astrophysics; practical exercises. The practical part can be carried out at the observatory (Bergedorf).</i></p>				
Lehrveranstaltungen und Lehrformen	<ul style="list-style-type: none"> • Astronomische Beobachtungsmethoden und -instrumente (V) 				2 SWS
	<ul style="list-style-type: none"> • Übungen zu Astronomische Beobachtungsmethoden und -instrumente (Ü) 				2 SWS
Arbeitsaufwand (Teilleistungen und insgesamt)		LP	P (Std)	S (Std)	PV (Std)
	<ul style="list-style-type: none"> • Vorlesung 	3	28	32	30
	<ul style="list-style-type: none"> • Übung 	2	28	32	-
	Gesamtaufwand	5	56	64	30

Studien- /Prüfungsleistungen	Prüfungsart: mündliche Prüfung <i>oral examination</i> Sprache der Prüfung: Deutsch oder Englisch Abweichungen werden zu Beginn der Veranstaltung bekannt gegeben.
Dauer	1 Semester
Häufigkeit des Angebots	jedes Semester
Literatur	Wird in der Veranstaltung bekannt gegeben.

Modultitel	Cosmology				
Modulnummer/-kürzel	PHY-MV-A-E14				
Semester	Wintersemester				
Verwendbarkeit, Modultyp und Zuordnung zum Curriculum	<ul style="list-style-type: none"> • Physik (M.Sc.): Wahlpflichtmodul • Physics (M.Sc.): Wahlpflichtmodul 				
Voraussetzungen für die Teilnahme	Verbindlich: keine Empfohlen: Einführung in die Astronomie I und II				
Modulverantwortliche/r	Prof. Dr. Markus Brüggem				
Lehrende	Prof. Dr. Markus Brüggem				
Sprache	Englisch				
Qualifikationsziele	<p>Die Studierende kennen Problemlösungsstrategien. Sie können analytisch Denken und die Theoriebildung in der Physik und sind in der Lage mathematische und informationstechnologische Lösungsstrategien anzuwenden.</p> <p><i>The students know problem-solving strategies. They are able to think analytically and theorise in physics and are able to apply mathematical and information-technological solution strategies.</i></p>				
Inhalt	<p>Grundlagenwissen der Kosmologie in Theorie und Beobachtung.</p> <p><i>Basic knowledge of cosmology in theory and observation.</i></p>				
Lehrveranstaltungen und Lehrformen	<ul style="list-style-type: none"> • Cosmology (V) • Exercises in Cosmology (Ü) 				3 SWS 1 SWS
Arbeitsaufwand (Teilleistungen und insgesamt)		LP	P (Std)	S (Std)	PV (Std)
	• Vorlesung	5	42	54	54
	• Übung	1	14	16	-
	Gesamtaufwand	6	56	70	54
Studien- /Prüfungsleistungen	<p>Prüfungsart: Klausur oder mündliche Prüfung <i>written or oral examination</i> Sprache der Prüfung: Englisch Abweichungen werden zu Beginn der Veranstaltung bekannt gegeben.</p>				

Dauer	1 Semester
Häufigkeit des Angebots	Jährlich, Wintersemester
Literatur	Wird in der Veranstaltung bekannt gegeben.

Modultitel	Seminar Topics in Low Frequency Radio Astronomy				
Modulnummer/-kürzel	PHY-MV-A-E15				
Semester	Wintersemester/Sommersemester				
Verwendbarkeit, Modultyp und Zuordnung zum Curriculum	<ul style="list-style-type: none"> • Physik (M.Sc.): Wahlpflichtmodul • Physics (M.Sc.): Wahlpflichtmodul 				
Voraussetzungen für die Teilnahme	Verbindlich: keine Empfohlen: Einführung in die Astronomie I und II				
Modulverantwortliche/r	Prof. Dr. Markus Brüggem				
Lehrende	Prof. Dr. Markus Brüggem				
Sprache	Englisch				
Qualifikationsziele	Die Studierenden kennen die Grundlagen des wissenschaftlichen Diskurses und die aktuelle Forschung der niedrigfrequenten Radioastronomie. <i>Students know the basics of scientific discourse and current research in low-frequency radio astronomy.</i>				
Inhalt	Aktuelle Forschung in niedrigfrequenter Radioastronomie <i>Current research in low-frequency radio astronomy</i>				
Lehrveranstaltungen und Lehrformen	<ul style="list-style-type: none"> • Seminar Topics in Low Frequency Radio Astronomy (S) 				2 SWS
Arbeitsaufwand (Teilleistungen und insgesamt)	<ul style="list-style-type: none"> • Seminar 	LP 3	P (Std) 28	S (Std) 32	PV (Std) 30
	Gesamtaufwand	3	28	32	30
Studien-/Prüfungsleistungen	Prüfungsart: Referat mit schriftlicher Ausarbeitung Sprache der Prüfung: Englisch Abweichungen werden zu Beginn der Veranstaltung bekannt gegeben.				
Dauer	1 Semester				
Häufigkeit des Angebots	jährlich				
Literatur	Wird in der Veranstaltung bekannt gegeben.				

Modultitel	Extragalactic Astrophysics
-------------------	-----------------------------------

Modulnummer/-kürzel	PHY-MV-A-E17				
Semester	Wintersemester				
Verwendbarkeit, Modultyp und Zuordnung zum Curriculum	<ul style="list-style-type: none"> • Physik (M.Sc.): Wahlpflichtmodul • Physics (M.Sc.): Wahlpflichtmodul 				
Voraussetzungen für die Teilnahme	Verbindlich: keine Empfohlen: Einführung in die Astronomie I und II				
Modulverantwortliche/r	Prof. Dr. Markus Brüggem				
Lehrende	Prof. Dr. Markus Brüggem				
Sprache	Englisch				
Qualifikationsziele	<p>Die Studierende kennen Problemlösungsstrategien und sind fähig analytisch zu denken. Sie besitzen die Fähigkeit Bewertung von astronomischen Daten vorzunehmen sowie die Theoriebildung in der Physik. Die Studierenden sind in der Lage mathematische und informationstechnologische Lösungsstrategien anzuwenden.</p> <p><i>The students know problem-solving strategies and are able to think analytically. They have the ability to evaluate astronomical data and to develop theories in physics. The students are able to apply mathematical and information-technical solution strategies.</i></p>				
Inhalt	<p>Grundlagenwissen der extragalaktischen Astronomie in Theorie und Beobachtung; Milchstraßensystem, großräumige Struktur, Galaxienbildung, Galaxien-haufen.</p> <p><i>Basic knowledge of extragalactic astronomy in theory and observation; Milky Way system, large-scale structure, galaxy formation, galaxy clusters.</i></p>				
Lehrveranstaltungen und Lehrformen	<ul style="list-style-type: none"> • Extragalactic Astrophysics (V) • Exercises in Extragalactic Astrophysics (Ü) 			3 SWS	1 SWS
Arbeitsaufwand (Teilleistungen und insgesamt)		LP	P (Std)	S (Std)	PV (Std)
	<ul style="list-style-type: none"> • Vorlesung • Übung 	5	42	54	54
	Gesamtaufwand	1	14	16	-
		6	56	70	54
Studien-/Prüfungsleistungen	Prüfungsart: Klausur oder mündliche Prüfung <i>written or oral examination</i> Sprache der Prüfung: Englisch Abweichungen werden zu Beginn der Veranstaltung bekannt gegeben.				
Dauer	1 Semester				
Häufigkeit des Angebots	jährlich				
Literatur	Wird in der Veranstaltung bekannt gegeben.				

Modultitel	Seminar Extragalactic Astrophysics
-------------------	---

Modulnummer/-kürzel	PHY-MV-A-E19				
Semester	Wintersemester und Sommersemester				
Verwendbarkeit, Modultyp und Zuordnung zum Curriculum	<ul style="list-style-type: none"> • Physik (M.Sc.): Wahlpflichtmodul • Physics (M.Sc.): Wahlpflichtmodul 				
Voraussetzungen für die Teilnahme	Verbindlich: keine Empfohlen: Einführung in die Astronomie I und II				
Modulverantwortliche/r	Prof. Dr. Markus Brüggen				
Lehrende	Prof. Dr. Markus Brüggen				
Sprache	Englisch				
Qualifikationsziele	<p>Die Studierenden sind in der Lage Forschungsergebnisse zu präsentieren, Fachliteratur zu lesen und zu verstehen sowie astronomische Daten zu bewerten. Außerdem haben sie die Kenntnisse zur Theoriebildung in der Physik.</p> <p><i>Students are able to present research results, read and understand technical literature and evaluate astronomical data. They also have the knowledge of theory building in physics.</i></p>				
Inhalt	<p>Moderne Themen aus der aktuellen Forschung der extragalaktischen Astronomie.</p> <p><i>Modern topics from current research in extragalactic astronomy.</i></p>				
Lehrveranstaltungen und Lehrformen	<ul style="list-style-type: none"> • Seminar Extragalactic Astrophysics (S) 				2 SWS
Arbeitsaufwand (Teilleistungen und insgesamt)		LP	P (Std)	S (Std)	PV (Std)
	<ul style="list-style-type: none"> • Seminar 	3	28	32	30
	Gesamtaufwand	3	28	32	30
Studien-/Prüfungsleistungen	<p>Prüfungsart: Referat mit schriftlicher Ausarbeitung Sprache der Prüfung: Englisch Abweichungen werden zu Beginn der Veranstaltung bekannt gegeben.</p>				
Dauer	1 Semester				
Häufigkeit des Angebots	jedes Semester				
Literatur	Wird in der Veranstaltung bekannt gegeben.				

Modultitel	Galaxy Evolution
Modulnummer/-kürzel	PHY-MV-A-E23
Semester	Sommersemester

Verwendbarkeit, Modultyp und Zuordnung zum Curriculum	<ul style="list-style-type: none"> • Physik (M.Sc.): Wahlpflichtmodul • Physics (M.Sc.): Wahlpflichtmodul 				
Voraussetzungen für die Teilnahme	Verbindlich: keine Empfohlen: Einführung in die Astronomie & Astrophysik I & II				
Modulverantwortliche/r	Prof. Dr. Jochen Liske				
Lehrende	Prof. Dr. Jochen Liske				
Sprache	Englisch				
Qualifikationsziele	<p>Die Studierenden kennen die Entwicklung des Universums, den linearen und nicht-linearen Wachstum von kosmischen Strukturen, die Entstehung von elliptischen und Spiralgalaxien, sowie die Beobachtungstechniken, mit denen Galaxien observiert werden.</p> <p><i>Students are familiar with the evolution of the universe, the linear and non-linear growth of cosmic structures, the formation of elliptical and spiral galaxies, and the observational techniques used to observe galaxies.</i></p>				
Inhalt	<p>Übersicht von Galaxien und physikalischen Prozessen, kosmologischer Hintergrund, (statistische) Eigenschaften von Galaxien, Wachstum von Dichtestörungen, Entstehung von Dunkle-Materie-Halos, Entstehung von Gas-Halos, Verbindung zwischen Halos und Galaxien, Entstehung von Scheibengalaxien, Beobachtungsanlagen</p> <p><i>Overview of galaxies and physical processes, cosmological background, (statistical) properties of galaxies, growth of density perturbations, formation of Dark Matter halos, formation of gaseous halos, linking halos to galaxies, formation of disks, observational facilities.</i></p>				
Lehrveranstaltungen und Lehrformen	<ul style="list-style-type: none"> • Galaxy Evolution (V) • Exercises in Galaxy Evolution (Ü) 			2 SWS	2 SWS
Arbeitsaufwand (Teilleistungen und insgesamt)		LP	P (Std)	S (Std)	PV (Std)
	<ul style="list-style-type: none"> • Vorlesung • Übung 	3	28	32	30
	Gesamtaufwand	5	56	64	30
Studien-/Prüfungsleistungen	<p>Prüfungsart: Klausur oder mündliche Prüfung <i>written or oral examination</i> Sprache der Prüfung: Englisch Abweichungen werden zu Beginn der Veranstaltung bekannt gegeben.</p>				
Dauer	1 Semester				
Häufigkeit des Angebots	zweijährlich				
Literatur	"Galaxy Formation and Evolution", Mo, van den Bosch and White, Cambridge University Press.				

Modultitel	Seminar on Galaxy Evolution
-------------------	------------------------------------

Modulnummer/-kürzel:	PHY-MV-A-E24				
Semester	Sommersemester				
Verwendbarkeit, Modultyp und Zuordnung zum Curriculum	<ul style="list-style-type: none"> • Physik (M.Sc.): Wahlpflichtmodul • Physics (M.Sc.): Wahlpflichtmodul 				
Voraussetzungen für die Teilnahme	Verbindlich: keine Empfohlen: Einführung in die Astronomie & Astrophysik I & II				
Modulverantwortliche/r	Prof. Dr. Jochen Liske				
Lehrende	Prof. Dr. Jochen Liske				
Sprache	Englisch				
Qualifikationsziele	Die Studierenden können wissenschaftliche Veröffentlichungen lesen und kritisch reflektieren. Die Studierenden können die Inhalte von Veröffentlichungen in einer Präsentation wiedergeben und einordnen. <i>The students are able to read scientific publications and critically reflect on them. The students are able to reproduce the contents of publications and to describe their context in a presentation.</i>				
Inhalt	In diesem Seminar werden einige Klassiker unter den wissenschaftlichen Veröffentlichungen zum Thema Galaxienentstehung und -entwicklung behandelt. Dabei werden sowohl theoretische Paper als auch Paper mit Beobachtungen betrachtet. <i>This seminar covers some of the classic scientific papers on galaxy formation and evolution, both theoretical and observational.</i>				
Lehrveranstaltungen und Lehrformen	<ul style="list-style-type: none"> • Seminar on Galaxy Evolution (S) 				2 SWS
Arbeitsaufwand (Teilleistungen und insgesamt)		LP	P (Std)	S (Std)	PV (Std)
	<ul style="list-style-type: none"> • Seminar 	3	28	32	30
	Gesamtaufwand	3	28	32	30
Studien-/Prüfungsleistungen	Prüfungsart: Referat mit schriftlicher Ausarbeitung Sprache der Prüfung: Englisch Abweichungen werden zu Beginn der Veranstaltung bekannt gegeben.				
Dauer	1 Semester				
Häufigkeit des Angebots	jährlich				
Literatur	Wird in der Veranstaltung bekannt gegeben.				

Modultitel	Chemical Evolution of the Universe
Modulnummer/-kürzel	PHY-MV-A-E27
Semester	Sommersemester

Verwendbarkeit, Modultyp und Zuordnung zum Curriculum	<ul style="list-style-type: none"> • Physik (M.Sc.): Wahlpflichtmodul • Physics (M.Sc.): Wahlpflichtmodul 				
Voraussetzungen für die Teilnahme	Verbindlich: keine Empfohlen: Einführung in die Astronomie I und II				
Modulverantwortliche/r	Prof. Dr. Jochen Liske				
Lehrende	Prof. Dr. Jochen Liske				
Sprache	Englisch				
Qualifikationsziele	<p>Die Studierenden kennen die für die chemische Entwicklung des Universums wichtigsten astrophysikalischen Prozessen.</p> <p><i>Students are familiar with the most important astrophysical processes relevant for the chemical evolution of the Universe.</i></p>				
Inhalt	<p>Kosmologischer Hintergrund, primordiale Nukleosynthese, Strukturbildung, Grundlagen der Sternentwicklung und Nukleosynthese, Neutroneneinfangsprozesse, galaktische chemische Entwicklung, kosmische chemische Entwicklung.</p> <p><i>Cosmological background, primordial nucleosynthesis, structure formation, basics of stellar evolution and nucleosynthesis, neutron capture processes, galactic chemical evolution, cosmic chemical evolution.</i></p>				
Lehrveranstaltungen und Lehrformen	<ul style="list-style-type: none"> • Chemical Evolution of the Universe (V) • Exercises in Chemical Evolution of the Universe (Ü) 			2 SWS	2 SWS
Arbeitsaufwand (Teilleistungen und insgesamt)		LP	P (Std)	S (Std)	PV (Std)
	<ul style="list-style-type: none"> • Vorlesung • Übung 	3	28	32	30
	Gesamtaufwand	5	56	64	30
Studien-/Prüfungsleistungen	<p>Prüfungsart: Klausur oder mündliche Prüfung <i>written or oral examination</i></p> <p>Sprache der Prüfung: Englisch</p> <p>Abweichungen werden zu Beginn der Veranstaltung bekannt gegeben.</p>				
Dauer	1 Semester				
Häufigkeit des Angebots	zweijährlich				
Literatur	„Nucleosynthesis and Chemical Evolution of Galaxies“, Pagel, Cambridge University Press				

Modultitel:	Computational Astrophysics
Modulnummer/-kürzel:	PHY-MV-A-T01
Semester	Wintersemester

Verwendbarkeit, Modultyp und Zuordnung zum Curriculum	<ul style="list-style-type: none"> • Physik (M.Sc.): Wahlpflichtmodul • Physics (M.Sc.): Wahlpflichtmodul 				
Voraussetzungen für die Teilnahme:	Verbindlich: keine Empfohlen: Einführung in die Astronomie I und II, elementare Programmierkenntnisse				
Modulverantwortliche/r:	Prof. Dr. Peter Hauschildt				
Lehrende:	Prof. Dr. Peter Hauschildt				
Sprache:	Englisch (Folien/Skript auf Englisch)				
Qualifikationsziele	Die Studierenden sind in der Lage, numerische Verfahren gezielt einzusetzen und die Ergebnisse von Computer Programmen kritisch zu bewerten. <i>The students are able to use numerical methods in a targeted manner and to critically evaluate the results of computer programs.</i>				
Inhalt:	Es werden die Themenbereiche hardware essentials, Parallelization, GPUs, common pitfalls, non-linear equations, linear equations, differential equations, Monte Carlo methods, und FFT/wavelets behandelt. <i>Topics covered include hardware basics, parallelisation, GPUs, common pitfalls, non-linear equations, linear equations, differential equations, Monte Carlo methods, and FFT/wavelets.</i>				
Lehrveranstaltungen und Lehrformen:	<ul style="list-style-type: none"> • Computational Astrophysics (V) • Exercises in Computational Astrophysics (ü) 			3 SWS	1 SWS
Arbeitsaufwand* (Teilleistungen und insgesamt)		LP	P(Std)	S (Std)	PV (Std)
	• Vorlesung	5	42	54	54
	• Übung	1	14	16	-
	Gesamtaufwand	6	56	70	54
Studien-/Prüfungsleistungen	Prüfungsart: Klausur Abweichungen werden zu Beginn der Veranstaltungen bekannt gegeben.				
Dauer	1 Semester				
Häufigkeit des Angebots	zweijährlich				
Literatur:	Skript; Press et al, 'Numerical Receipes in [Fortran, C]'				

Modultitel	Stellar Structure & Evolution
Modulnummer/-kürzel	PHY-MV-A-T02
Semester	Wintersemester

Verwendbarkeit, Modultyp und Zuordnung zum Curriculum	<ul style="list-style-type: none"> • Physik (M.Sc.): Wahlpflichtmodul • Physics (M.Sc.): Wahlpflichtmodul 				
Voraussetzungen für die Teilnahme	Verbindlich: keine Empfohlen: keine				
Modulverantwortliche/r	Prof. Dr. Peter Hauschildt				
Lehrende	Prof. Dr. Peter Hauschildt				
Sprache	Englisch				
Qualifikationsziele	<p>Die Studierenden kennen den physikalischen Aufbau von Sternen und deren Entwicklung.</p> <p><i>The students know the physical structure of stars and their evolution.</i></p>				
Inhalt	<p>Dies ist eine Vorlesung der theoretischen Astrophysik. Es wird beschrieben, welche Physik dem Sternaufbau und der Sternentwicklung zugrunde liegt. Es werden die physikalischen Prozesse im Sterninneren und Eigenschaften der Sternmaterie behandelt. Weiterhin wird auf die Berechnung von Sternmodellen eingegangen und auf typische Ergebnisse. Es wird auf die Entwicklung von der Vorhauptreihe bis zu den Endstadien von Sternen verschiedener Massen eingegangen. Es werden die Eigenschaften und die Entwicklungen von normalen und kompakten Sterntypen beschrieben.</p> <p><i>This is a lecture in theoretical astrophysics. It describes the physics underlying stellar structure and evolution. The physical processes in the interior of the star and properties of the stellar matter are discussed. Furthermore, the calculation of stellar models and typical results are discussed. The development from the pre-main sequence to the final stages of stars of different masses is discussed. The properties and evolution of normal and compact stars are described.</i></p>				
Lehrveranstaltungen und Lehrformen	<ul style="list-style-type: none"> • Stellar Structure & Evolution (V) • Exercises in Stellar Structure & Evolution (Ü) 			3 SWS	1 SWS
Arbeitsaufwand (Teilleistungen und insgesamt)		LP	P (Std)	S (Std)	PV (Std)
	<ul style="list-style-type: none"> • Vorlesung • Übung 	5	70	40	40
	Gesamtaufwand	1	14	16	-
		6	84	56	40
Studien-/Prüfungsleistungen	Prüfungsart: Klausur oder mündliche Prüfung <i>written or oral examination</i> Sprache der Prüfung: Englisch Abweichungen werden zu Beginn der Veranstaltung bekannt gegeben.				
Dauer	1 Semester				
Häufigkeit des Angebots	zweijährlich				
Literatur	Kippenhahn, Weigert, Weiss: Stellar Structure and Evolution http://emedien.sub.uni-hamburg.de/han/SpringerEbooks/dx.doi.org/10.1007/978-3-642-30304-3				

Modultitel	Theory and Application of PHOENIX				
Modulnummer/-kürzel	PHY-MV-A-T03				
Semester	Wintersemester/Sommersemester				
Verwendbarkeit, Modultyp und Zuordnung zum Curriculum	<ul style="list-style-type: none"> • Physik (M.Sc.): Wahlpflichtmodul • Physics (M.Sc.): Wahlpflichtmodul 				
Voraussetzungen für die Teilnahme	<p>Verbindlich: sehr gute Programmierkenntnisse in Fortran90 und MPI, nachgewiesene Grundkenntnisse in PHOENIX</p> <p>Empfohlen: Einführung in die Astronomie I+II, Computational Astrophysics, Stellar and planetary atmospheres</p>				
Modulverantwortliche/r	Prof. Dr. Peter Hauschildt				
Lehrende	Prof. Dr. Peter Hauschildt				
Sprache	Englisch				
Qualifikationsziele	<p>Die Studierenden haben ein besseres Verständnis von PHOENIX, einschließlich der verwendeten Methoden, Algorithmen und Programm-Module. Sie kennen die Anwendung von PHOENIX auf astrophysikalische Simulationsprobleme.</p> <p><i>The students have a better understanding of PHOENIX, including the methods, algorithms and programme modules used. They know the application of PHOENIX to astrophysical simulation problems.</i></p>				
Inhalt	<p>Es werden die verschiedenen Module von PHOENIX diskutiert und besprochen. Es werden praktische Erfahrungen bei der Anwendung von PHOENIX diskutiert.</p> <p><i>The different modules of PHOENIX are discussed and reviewed. Practical experiences in the application of PHOENIX will be discussed.</i></p>				
Lehrveranstaltungen und Lehrformen	<ul style="list-style-type: none"> • Theory and Application of PHOENIX (V) 				2 SWS
Arbeitsaufwand (Teilleistungen und insgesamt)	<ul style="list-style-type: none"> • Vorlesung 	LP 3	P (Std) 28	S (Std) 32	PV (Std) 30
	Gesamtaufwand	3	28	32	30
Studien-/Prüfungsleistungen	<p>Voraussetzungen zur Anmeldung zur Modulprüfung: aktive Teilnahme</p> <p>Prüfungsart: Mündliche Prüfung <i>oral examination</i></p> <p>Sprache der Prüfung: Englisch</p> <p>Abweichungen werden zu Beginn der Veranstaltungen bekannt gegeben.</p>				
Dauer	1 Semester				
Häufigkeit des Angebots	Jedes Semester				
Literatur	Wird in der Veranstaltung bekannt gegeben.				

Modultitel	Stellar and Planetary Atmospheres
-------------------	--

Modulnummer/-kürzel	PHY-MV-A-T04				
Semester	Wintersemester				
Verwendbarkeit, Modultyp und Zuordnung zum Curriculum	<ul style="list-style-type: none"> • Physik (M.Sc.): Wahlpflichtmodul • Physics (M.Sc.): Wahlpflichtmodul 				
Voraussetzungen für die Teilnahme	Verbindlich: keine Empfohlen: Einführung in die Astrophysik I & II				
Modulverantwortliche/r	Prof. Dr. Peter Hauschildt				
Lehrende	Prof. Dr. Peter Hauschildt				
Sprache	Englisch				
Qualifikationsziele	Die Studierende verstehen den Aufbau von Stern und Planetenatmosphären sowie Strahlungstransport und numerische Modelle von Atmosphären als auch die Entstehung von Spektren und deren kritische Interpretation. <i>Students will understand the structure of stellar and planetary atmospheres, radiative transfer and numerical models of atmospheres, as well as the formation of spectra and their critical interpretation.</i>				
Inhalt	Der Aufbau von Stern und Planetenatmosphären, Strahlungstransport und numerische Modelle von Atmosphären sowie Entstehung von Spektren. <i>The structure of stellar and planetary atmospheres, radiative transfer and numerical models of atmospheres, and the formation of species.</i>				
Lehrveranstaltungen und Lehrformen	<ul style="list-style-type: none"> • Stellar and Planetary Atmospheres (V) • Exercises in Stellar and Planetary Atmospheres (Ü) 				3 SWS 1 SWS
Arbeitsaufwand (Teilleistungen und insgesamt)		LP	P (Std)	S (Std)	PV (Std)
	<ul style="list-style-type: none"> • Vorlesung • Übung 	5	42	54	54
	Gesamtaufwand	1	14	16	-
		6	56	70	54
Studien-/Prüfungsleistungen	Prüfungsart: Klausur oder mündliche Prüfung <i>written or oral examination</i> Sprache der Prüfung: Englisch Abweichungen werden zu Beginn der Veranstaltung bekannt gegeben.				
Dauer	1 Semester				
Häufigkeit des Angebots	zweijährlich				
Literatur	Wird in der Veranstaltung bekannt gegeben.				

Modultitel	MHD simulations with the FLASH code
Modulnummer/-kürzel	PHY-MV-A-T06
Semester	Wintersemester/Sommersemester

Verwendbarkeit, Modultyp und Zuordnung zum Curriculum	<ul style="list-style-type: none"> Physik (M.Sc.): Wahlpflichtmodul Empfehlung 2. oder 3. FS Physics (M.Sc.): Wahlpflichtmodul Empfehlung 2. oder 3. FS 				
Voraussetzungen für die Teilnahme	Verbindlich: keine Empfohlen: Kenntnisse über numerische Methoden und Magnetohydrodynamik				
Modulverantwortliche/r	Prof. Dr. Robi Banerjee				
Lehrende	Prof. Dr. Robi Banerjee				
Sprache	Englisch				
Qualifikationsziele	Studierende kennen den Umgang mit dem Simulationscode FLASH und Anwendungen im astrophysikalischen Bereich. <i>Students know how to use the simulation code FLASH and applications in the astrophysical field.</i>				
Inhalt	Ausgewählte Themen der Magnetohydrodynamik (MHD) und numerische Lösungen von MHD-Problemen. <i>Selected topics in magnetohydrodynamics (MHD) and numerical solutions of MHD problems.</i>				
Lehrveranstaltungen und Lehrformen	<ul style="list-style-type: none"> MHD simulations with the FLASH code (V) 				2 SWS
Arbeitsaufwand (Teilleistungen und insgesamt)		LP	P (Std)	S (Std)	PV (Std)
	<ul style="list-style-type: none"> Seminar 	3	28	32	30
	Gesamtaufwand	3	28	32	30
Studien-/Prüfungsleistungen	Voraussetzungen zur Anmeldung zur Modulprüfung: erfolgreiche Teilnahme an den Übungen Prüfungsart: Mündliche Prüfung <i>oral examination</i> Sprache der Prüfung: Englisch Abweichungen werden zu Beginn der Veranstaltungen bekannt gegeben.				
Dauer	1 Semester				
Häufigkeit des Angebots	Jedes Semester				
Literatur	Wird in der Veranstaltung bekannt gegeben.				

Modultitel	The Interstellar Medium and Star Formation
Modulnummer/-kürzel	PHY-MV-A-T10
Semester	Wintersemester
Verwendbarkeit, Modultyp und Zuordnung zum Curriculum	<ul style="list-style-type: none"> Physik (M.Sc.): Wahlpflichtmodul Physics (M.Sc.): Wahlpflichtmodul

Voraussetzungen für die Teilnahme	Verbindlich: keine Empfohlen: Einführung in die Astrophysik I & II				
Modulverantwortliche/r	Prof. Dr. Robi Banerjee				
Lehrende	Prof. Dr. Robi Banerjee				
Sprache	Deutsch oder Englisch				
Qualifikationsziele	<p>Die Studierenden besitzen grundlegende Kenntnisse des interstellaren Mediums (u.a. Zusammensetzung, physikalische Eigenschaften, Dynamik) und der Entstehung von Sternen (u.a. Voraussetzungen, Zeitskalen, Thermodynamik, Entwicklung von Protosternen, Gasausflüsse). Desweiteren kennen sie die hydrodynamischen und magneto-hydrodynamischen Gleichungen und können diese anwenden.</p> <p><i>The students have basic knowledge of the interstellar medium (including composition, physical properties, dynamics) and the formation of stars (including prerequisites, time scales, thermodynamics, development of protostars, gas outflows). Furthermore, they know the hydrodynamic and magneto-hydrodynamic equations and can apply them.</i></p>				
Inhalt	<p>ISM (three phases + physical properties); Molecular clouds (observations + physical properties); Conditions for star formation (i.e. cold dense regions, Jeans criterion, BE spheres) Turbulence (Larson's relation, Kolmogorov turbulence); Fragmentation; Initial mass function (IMF, reconstruction from observations); IMF (theoretical ideas, conversion from CMF to IMF); The collapse (1D calculations: Larson/Penston, Shu); Magnetic fields: mass-to-flux ratio, ambipolar diffusion; Magnetic fields: observational techniques (polarisation, Zeeman, RM); 3D collapse: disc formation, Jets; Jet launching; Observations of Jets; Formation of Massive stars; Feedback (HII-Regions, SN) + triggered star formation; Protostellar evolution (Hayashi track, classes); Evolution of protoplanetary discs; Planet formation (grav. instability, core accretion models).</p>				
Lehrveranstaltungen und Lehrformen	<ul style="list-style-type: none"> • Interstellar Medium and Star Formation (V) • Exercises in Interstellar Medium and Star Formation (Ü) 			3 SWS	1 SWS
Arbeitsaufwand (Teilleistungen und insgesamt)		LP	P (Std)	S (Std)	PV (Std)
	<ul style="list-style-type: none"> • Vorlesung • Übung 	5	42	54	54
	Gesamtaufwand	1	14	16	-
	Gesamtaufwand	6	56	70	54

Studien- /Prüfungsleistungen	Prüfungsart: Klausur oder mündliche Prüfung <i>written or oral examination</i> Sprache der Prüfung: Englisch Abweichungen werden zu Beginn der Veranstaltung bekannt gegeben.
Dauer	1 Semester
Häufigkeit des Angebots	zweijährlich
Literatur	Frank Shu "The Physical Universe"; Bruce Drain "Physics of the Interstellar and Intergalactic Medium"; Steven Stahler & Francesco Palla "The Formation of Stars"; Derek Ward-Thomson & Anthony Whitworth "An Introduction to Star Formation".

Modultitel	Introduction to General Relativity and Astrophysical Applications			
Modulnummer/-kürzel	PHY-MV-A-T16			
Semester	Sommersemester			
Verwendbarkeit, Modultyp und Zuordnung zum Curriculum	<ul style="list-style-type: none"> • Physik (M.Sc.): Wahlpflichtmodul • Physics (M.Sc.): Wahlpflichtmodul 			
Voraussetzungen für die Teilnahme	Verbindlich: keine Empfohlen: Einführung in die Astrophysik I & II			
Modulverantwortliche/r	Prof. Dr. Robi Banerjee			
Lehrende	Prof. Dr. Robi Banerjee			
Sprache	Englisch			
Qualifikationsziele	<p>Die Studierenden kennen die Allgemeine Realitätstheorie. Sie besitzen das Wissen über gekrümmte Räume in mehr Dimensionen und können diese beschreiben. Zudem sie kennen astrophysikalischen Phänomene basierend auf der ART.</p> <p><i>The students know the general theory of reality. They have knowledge about curved spaces in more dimensions and can describe them. They also know astrophysical phenomena based on ART.</i></p>			
Inhalt	<p>curvilinear space; concepts of Special Relativity and SPACETIME; Equivalence Principle; curved SPACETIME; Geodesics; Tensor calculus; Einsteins' field equation.</p> <p>Applications: Schwarzschild geometry, Black Holes (BH), Kerr BHs, Accretion Discs, Gravitational lensing, Gravitational Waves, Gravitational Wave Sources, Cosmology</p>			
Lehrveranstaltungen und Lehrformen	<ul style="list-style-type: none"> • Introduction to General Relativity and Astrophysical Applications (V) • Exercises in Introduction to General Relativity and Astrophysical Applications (Ü) 			4 SWS 2 SWS
	LP	P (Std)	S (Std)	PV (Std)

Arbeitsaufwand (Teilleistungen und insgesamt)	<ul style="list-style-type: none"> • Vorlesung • Übung 	6	56	62	62
	Gesamtaufwand	2	28	32	-
		8	84	94	62
Studien- /Prüfungsleistungen	Prüfungsart: Klausur Sprache der Prüfung: Englisch Abweichungen werden zu Beginn der Veranstaltung bekannt gegeben.				
Dauer	1 Semester				
Häufigkeit des Angebots	zweijährlich				
Literatur	James B. Hartle: GRAVITY, An Introduction to Einstein's General Relativity; Ray d'Inverno: Introducing Einstein's Relativity; Bernhard Schutz: A First Course in General Relativity.				

Beschleuniger- und Elementarteilchenphysik (Accelerator and elementary particle physics):

Modultitel	Accelerator Physics II
Modulnummer/-kürzel	PHY-MV-BE-E02
Semester	Sommersemester
Verwendbarkeit, Modultyp und Zuordnung zum Curriculum	<ul style="list-style-type: none"> • Physik (M.Sc.): Wahlpflichtmodul • Physics (M.Sc.): Wahlpflichtmodul
Voraussetzungen für die Teilnahme	Verbindlich: keine Empfohlen: Besuch der Vorlesung „Accelerator Physics I“
Modulverantwortliche/r	Prof. Dr. Wolfgang Hillert
Lehrende	Prof. Dr. Wolfgang Hillert
Sprache	Englisch
Qualifikationsziele	<p>Die Studierenden verstehen die wichtigsten Zusammenhänge bei Planung und Weiterentwicklung von Beschleunigeranlagen. Sie haben tiefere Einblicke in das Design und die Anwendung von modernen Beschleunigern wie zum Beispiel Synchrotronstrahlungsquellen, Hochenergie-Collidern oder Freielektronen-Laser. Sie kennen die wichtigsten, die Strahlqualität und -intensität sowie die erreichbare Luminosität begrenzenden Effekte und Verfahren zur Erzeugung hochintensiver und kohärenter Röntgenstrahlen.</p> <p><i>The students understand the most important interrelationships in the planning and further development of accelerator facilities. They have deeper insights into the design and application of modern accelerators such as synchrotron radiation sources, high-energy colliders or free electron lasers. They know the most important effects limiting the beam quality and intensity as well as the achievable luminosity and methods to generate high-intensity and coherent X-rays.</i></p>
Inhalt	Diese Veranstaltung ist eine Fortführung und Vertiefung der einführenden Vorlesung „Beschleunigerphysik I“. Ein Einstieg ohne diese Einführung gehört

	<p>zu haben ist prinzipiell möglich, erfordert aber die eigenständige Einarbeitung in den Matrixformalismus zur Beschreibung der linearen Strahl-optik. Dies sollte mit Hilfe vorhandener sehr guter Lehrbücher problemlos möglich sein.</p> <p>Inhalte:</p> <ul style="list-style-type: none"> - Synchrotronstrahlung und Strahlungsgleichgewicht - Synchrotronstrahlungsquellen - Raumladungseffekte (direkte Raumladung) - Luminosität und Kollider - Phasenraumkühlung (Stochastisches Kühlen, Elektronenkühlen) - Freie-Elektronen-Laser <p><i>This course is a continuation and consolidation of the introductory course "Accelerator Physics I". In principle, it is possible to start directly with the advanced course without having attended the introductory course. However this requires an independent familiarization with the matrix formalism describing the linear beam optics which in general should be easily possible due to existing very good textbooks.</i></p> <p><i>Contents:</i></p> <ul style="list-style-type: none"> - <i>Synchrotron radiation and radiation equilibrium</i> - <i>Synchrotron radiation sources</i> - <i>Space charge effects (direct space charge)</i> - <i>Luminosity and colliders</i> - <i>Phase space cooling (stochastic cooling, electron cooling)</i> - <i>Free electron lasers</i> 				
Lehrveranstaltungen und Lehrformen	<ul style="list-style-type: none"> • Accelerator Physics II (V) • Exercises in Accelerator Physics II (Ü) 			2 SWS	2 SWS
Arbeitsaufwand (Teilleistungen und insgesamt)		LP	P (Std)	S (Std)	PV (Std)
	<ul style="list-style-type: none"> • Vorlesung • Übung 	3	28	32	30
	Gesamtaufwand	2	28	32	-
		5	56	64	30
Studien-/Prüfungsleistungen	<p>Prüfungsart: Erfolgreiche Bearbeitung der Übungsaufgaben, mündliche Abschlussprüfung / <i>successful work with the exercises, final oral examination</i></p> <p>Sprache der Prüfung: Englisch</p> <p>Abweichungen werden zu Beginn der Veranstaltung bekannt gegeben.</p>				
Dauer	1 Semester				
Häufigkeit des Angebots	jährlich				
Literatur	<ul style="list-style-type: none"> • H. Wiedemann, Particle Accelerator Physics (Third Edition), Springer 2007, Berlin, ISBN 978-3-5-540-490343-2 • D. A. Edwards, M. J. Syphers, An Introduction to the Physics of High Energy Accelerators, Wiley & Sons 1993, New York, ISBN 0-471-55163-5 • F. Hinterberger, Physik der Teilchenbeschleuniger und Ionenoptik (2. Ausgabe), Springer 2008, Berlin, ISBN 978-3-540-75282-0 • K. Wille, Physik der Teilchenbeschleuniger und Synchrotronstrahlungsquellen, 2. überarb. und erw. Aufl., Teubner 1996, Stuttgart, ISBN 3-519-13087-4 (vergriffen) 				

	<ul style="list-style-type: none"> • K. Wille, The physics of particle accelerators, Oxford Univ. Press 2005, Oxford, ISBN 0-19-850550-7 • S. Y. Lee, Accelerator Physics (Third Edition), World Scientific 2012, New Jersey, ISBN 978-981-4374-94-1 • A. W. Chao, K. H. Mess, M. Tigner, F. Zimmermann, Handbook of Accelerator Physics and Engineering (Second Edition), World Scientific 2013, New Jersey, ISBN 978-981-4415-84-2 • Script of the lecture "Accelerator Physics I"
--	--

Modultitel	Experimental Astroparticle Physics
Modulnummer/-kürzel	PHY-MV-BE-E05
Semester	Wintersemester
Verwendbarkeit, Modultyp und Zuordnung zum Curriculum	<ul style="list-style-type: none"> • Physik (M.Sc.): Wahlpflichtmodul • Physics (M.Sc.): Wahlpflichtmodul
Voraussetzungen für die Teilnahme	Verbindlich: keine Empfohlen: Astrophysik
Modulverantwortliche/r	Prof. Dr. Dieter Horns; Prof. Dr. Caren Hagner
Lehrende	Prof. Dr. Dieter Horns; Prof. Dr. Caren Hagner
Sprache	Englisch
Qualifikationsziele	<p>Die Studierenden sind fähig, konkrete Experimente und deren Messungen in einen Zusammenhang zu setzen und sind in der Lage, kritisch zu hinterfragen, welche Interpretation der Messergebnisse angebracht ist. Sie können nachvollziehen, wie sich aus einer physikalischen Fragestellung im Bereich der Astroteilchenphysik ein Mess- bzw. Beobachtungskonzept ableitet. Die Studierenden erlernen, aktuelle Forschungsergebnisse im gemeinsamen Diskurs im Rahmen von Seminarvorträgen zu erarbeiten.</p> <p><i>The students are able to put concrete experiments and their measurements into a context and are able to critically question which interpretation of the measurement results is appropriate. They can understand how a measurement or observation concept is derived from a physical question in the field of astroparticle physics. The students learn to work out current research results in joint discourse within the framework of seminar presentations.</i></p>
Inhalt	<p>Astroteilchenphysik mit Schwerpunkten Neutrinophysik (Neutrinonachweis, Neutrinoerzeugung, Neutrinooszillation), kosmische Beschleuniger (Erzeugung, Propagation und Nachweis kosmischer Strahlung. Dazu wechselnde aktuelle Themen aus den relevanten Gebieten der Astroteilchenphysik (dunkle Materie, Kosmologie etc.).</p> <p><i>Astroparticle physics with a focus on neutrino physics (neutrino detection, neutrino generation, neutrino oscillation), cosmic accelerators (generation, propagation and detection of cosmic radiation). In addition, current topics from the relevant areas of astroparticle physics (dark matter, cosmology, etc.).</i></p>

Lehrveranstaltungen und Lehrformen	<ul style="list-style-type: none"> • Experimental Astroparticle Physics (V) • Exercises in Experimental Astroparticle Physics (Ü) 				4 SWS 2 SWS
Arbeitsaufwand (Teilleistungen und insgesamt)	<ul style="list-style-type: none"> • Vorlesung • Übung 	LP 6 2	P (Std) 56 28	S (Std) 62 32	PV (Std) 62 -
	Gesamtaufwand	8	84	94	62
Studien-/Prüfungsleistungen	Studienleistung: Vortrag Prüfungsart: Mündliche Prüfung <i>oral examination</i> Sprache der Prüfung: Englisch Abweichungen werden zu Beginn der Veranstaltung bekannt gegeben.				
Dauer	1 Semester				
Häufigkeit des Angebots	jährlich				
Literatur	Wird in der Veranstaltung bekannt gegeben.				

Modultitel	Accelerator Physics I
Modulnummer/-kürzel	PHY-MV-BE-E09
Semester	Wintersemester
Verwendbarkeit, Modultyp und Zuordnung zum Curriculum	<ul style="list-style-type: none"> • Nanowissenschaften (M.Sc.): Wahlpflichtmodul • Physik (M.Sc.): Wahlpflichtmodul • Physics (M.Sc.): Wahlpflichtmodul
Voraussetzungen für die Teilnahme	Verbindlich: keine Empfohlen: keine
Modulverantwortliche/r	Prof. Dr. Wolfgang Hillert
Lehrende	Prof. Dr. Wolfgang Hillert
Sprache	Englisch
Qualifikationsziele	<p>Studierende kennen die Grundlagen der Beschleunigerphysik und sind in der Lage, eine einfache Beschleunigeranlage in ihren Grundelementen selbst zu konzipieren und ihre Schlüsselparameter zu berechnen.</p> <p>Im Einzelnen:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Verständnis des Funktionsprinzips verschiedener Arten von Teilchenbeschleunigern • Konzeption und Auslegung einfacher magnetoptischer Systeme • Grundkenntnisse der Hochfrequenztechnik und -technologie an Teilchenbeschleunigern • Kenntnisse der linearen Strahldynamik in Teilchenbeschleunigern und deren Anwendung <p><i>Students know the basics of accelerator physics and are able to design the basic elements of a simple accelerator facility themselves and calculate its key parameters.</i></p>

	<p><i>In detail:</i></p> <ul style="list-style-type: none"> - <i>Understanding of the functional principle of different types of particle accelerators.</i> - <i>Conception and design of simple magneto-optical systems</i> - <i>Basic knowledge of radio frequency engineering and technology at particle accelerators</i> - <i>Knowledge of linear beam dynamics in particle accelerators and their application</i> 				
Inhalt	<ul style="list-style-type: none"> • Überblick über Beschleunigertypen: elektrostatische Beschleuniger und Induktionsbeschleuniger, DTL, RFQ, Alvarez, Linac, Zyklotron, Synchrotron, Mikrotron • Bauelemente von Beschleunigern: Teilchenquellen, Hochfrequenzsysteme und Beschleunigungsresonatoren, Magnete, Vakuumsysteme • Lineare Strahloptik: Bewegungsgleichungen, Matrixformalismus, Strahlparameter, Phasenraumdarstellung • Kreisbeschleuniger: periodische Magnetstrukturen, transversale und longitudinale Strahldynamik • Besichtigung von Beschleunigern auf dem DESY-Gelände (z.B. FLASH, PETRA III, HERA) zur Veranschaulichung und Vertiefung des Lernstoffes <p><i>- Overview of accelerator types: electrostatic accelerators and induction accelerators, DTL, RFQ, Alvarez, linac, cyclotron, synchrotron, microtron.</i></p> <p><i>- Components of accelerators: Particle sources, radio frequency systems and cavities, magnets, vacuum systems</i></p> <p><i>- Linear beam optics: equations of motion, matrix formalism, beam parameters, phase space representation</i></p> <p><i>- Circular accelerators: periodic magnetic structures, transverse and longitudinal beam dynamics</i></p> <p><i>- Visits to accelerators on the DESY site (e.g. FLASH, PETRA III, HERA) to illustrate and deepen the subject matter.</i></p>				
Lehrveranstaltungen und Lehrformen	<ul style="list-style-type: none"> • Accelerator Physics I (V) • Exercises in Accelerator Physics I (Ü) 			2 SWS	2 SWS
Arbeitsaufwand (Teilleistungen und insgesamt)		LP	P (Std)	S (Std)	PV (Std)
	<ul style="list-style-type: none"> • Vorlesung • Übung 	3	28	32	30
	Gesamtaufwand	5	56	64	30
Studien-/Prüfungsleistungen	<p>Prüfungsart: Erfolgreiche Bearbeitung der Übungsaufgaben, mündliche Abschlussprüfung / <i>successful work with the exercises, final oral examination</i></p> <p>Sprache der Prüfung: Englisch</p> <p>Abweichungen werden zu Beginn der Veranstaltung bekannt gegeben.</p>				
Dauer	1 Semester				
Häufigkeit des Angebots	jährlich				
Literatur	<ul style="list-style-type: none"> • S. Y. Lee: <i>Accelerator Physics</i>, 3rd edition, World Scientific, New Jersey 2011, ISBN 978-981-4374-94-1 				

	<ul style="list-style-type: none"> • K. Wille: <i>Physik der Teilchenbeschleuniger und Synchrotronstrahlungsquellen</i>, 2. überarb. und erw. Auflage, Teubner 1996, Stuttgart, ISBN 978-3-519-13087-1 • K. Wille: <i>The physics of particle accelerators</i>, Oxford Univ. Press 2005, Oxford, ISBN 0-19-850550-7 (engl. Übersetzung, teuer!) • D. A. Edwards, M. J. Syphers: <i>An Introduction to the Physics of High Energy Accelerators</i>, Wiley & Sons 1993, New York, ISBN 0-471-55163-5 • F. Hinterberger: <i>Physik der Teilchenbeschleuniger und Ionenoptik</i>, 2. Ausgabe, Springer 2008, Berlin, ISBN 978-3-540-75281-3 • H. Wiedemann: <i>Particle Accelerator Physics I</i>, 4th edition, Springer 2015, Berlin, ISBN 978-3-319-18316-9 • A. W. Chao, M. Tigner: <i>Handbook of Accelerator Physics and Engineering</i>, 2nd edition, World Scientific, Singapore, 2013, ISBN 978-4417-17-4
--	---

Modultitel	Physik und Anwendungen von Laser-Plasma-Beschleunigern: Von medizinischer Bildgebung bis Hochenergiephysik
Modulnummer/-kürzel	PHY-MV-BE-E15
Semester	Sommersemester
Verwendbarkeit, Modultyp und Zuordnung zum Curriculum	<ul style="list-style-type: none"> • Physik (M.Sc.): Wahlpflichtmodul • Physics (M.Sc.): Wahlpflichtmodul
Voraussetzungen für die Teilnahme	Verbindlich: keine Empfohlen: keine
Modulverantwortliche/r	Prof. Dr. Florian Grüner
Lehrende	Prof. Dr. Florian Grüner
Sprache	Deutsch oder Englisch
Qualifikationsziele	<p>Nach erfolgreichem Absolvieren des Moduls kennen die Studierenden die Grundlagen der sog. Plasma-Wakefield-Beschleunigung, und wissen woher die ultrahohen Feldgradienten kommen und warum die Elektronenbunche so kurz sind.</p> <p>Ihr Wissen kann in folgenden Bereichen angewandt werden:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Synchrotron- und Undulatorstrahlung • Freie-Elektronen-Laser (FEL) • "table-top" FELs getrieben von Laser-Plasma-Beschleunigern • medizinische Bildgebung mit laser-basierter Undulatorquellen <p><i>After successful completion of the module, the students know the basics of the so-called plasma wakefield acceleration, and know where the ultra-high field gradients come from and why the electro-nuclear bunches are so short.</i></p>

	<p><i>Their knowledge can be applied in the following areas:</i></p> <ul style="list-style-type: none"> - <i>Synchrotron and undulator radiation</i> - <i>Free-electron lasers (FELs)</i> - <i>table-top FELs driven by laser plasma accelerators</i> - <i>medical imaging with laser-based undulator sources</i> 				
Inhalt	<p>Neben modernen und wohl etablierten Beschleunigern entsteht ein neues Gebiet in der Beschleunigerphysik: Laser-Plasma-Beschleuniger. Sie basieren auf sog. Hochleistungslasern, die Elektronen in Plasmen von wenigen Zentimetern Länge auf GeV-Energien beschleunigen können. Diese Kompaktheit verspricht neue Anwendungen, von medizinischer Bildgebung über brillante Röntgenquellen, bis hin zur Hochenergiephysik. Wir diskutieren dabei im Detail die zugrundeliegende Physik mit Schwerpunkt auf den brillanten Röntgenquellen, insbesondere die Verknüpfung von Laser-Plasmabeschleunigern und Freien-Elektronen-Lasern.</p> <p><i>In addition to modern and well-established accelerators, a new field is emerging in accelerator physics: laser plasma accelerators. They are based on so-called high-power lasers that can accelerate electrons in plasmas of a few centimetres in length to GeV energies. This compactness promises new applications, from medical imaging to brilliant X-ray sources to high-energy physics. We discuss in detail the underlying physics with a focus on the brilliant X-ray sources, in particular the linking of laser plasma accelerators and free-electron lasers.</i></p>				
Lehrveranstaltungen und Lehrformen	<ul style="list-style-type: none"> • Physik und Anwendungen von Laser-Plasma-Beschleunigern: Von medizinischer Bildgebung bis Hochenergiephysik (V) • Übungen zur Physik und Anwendungen von Laser-Plasma-Beschleunigern: Von medizinischer Bildgebung bis Hochenergiephysik (Ü) 			4 SWS	
				2 SWS	
Arbeitsaufwand (Teilleistungen und insgesamt)		LP	P (Std)	S (Std)	PV (Std)
	<ul style="list-style-type: none"> • Vorlesung • Übung 	6	56	62	62
	Gesamtaufwand	2	28	32	-
		8	84	94	62
Studien-/Prüfungsleistungen	<p>Prüfungsart: Klausur oder mündliche Prüfung <i>written or oral examination</i> Sprache der Prüfung: Deutsch oder Englisch Abweichungen werden zu Beginn der Veranstaltung bekannt gegeben.</p>				
Dauer	1 Semester				
Häufigkeit des Angebots	jährlich				
Literatur	Wird in der Vorlesung bekanntgegeben				

Modultitel	Teilchenphysik und der Large Hadron Collider (LHC): Beschleuniger, Detektoren und Physik
Modulnummer/-kürzel	PHY-MV-BE-E18
Semester	Sommersemester

Verwendbarkeit, Modultyp und Zuordnung zum Curriculum	<ul style="list-style-type: none"> • Physik (M.Sc.): Wahlpflichtmodul • Physics (M.Sc.): Wahlpflichtmodul 				
Voraussetzungen für die Teilnahme	Verbindlich: keine Empfohlen: Teilchenphysik für Fortgeschrittene				
Modulverantwortliche/r	Prof. Dr. Johannes Haller				
Lehrende	Prof. Dr. Johannes Haller				
Sprache	Deutsch oder Englisch				
Qualifikationsziele	<p>Die Studierenden besitzen ein vertieftes Verständnis der aktuellen Themen der Teilchenphysik, insbesondere von den Forschungsthemen, die am LHC untersucht werden.</p> <p><i>The students have an in-depth understanding of the current topics in particle physics, in particular of the research topics that are being investigated at the LHC.</i></p>				
Inhalt	<p>Einleitung, Beschleuniger und der LHC, Grundlagen von pp-Kollisionen, Spurdetektoren am LHC, QCD- und elektroschwache Prozesse am LHC, Kalorimeter der LHC Detektoren, Trigger- und Datennahmesysteme, Physik des Top-Quark, Suche und Studium des Higgs-Bosons, Suche nach Neuer Physik, Suche nach Supersymmetrie, Ausblick</p> <p><i>Introduction, accelerator and the LHC, basics of pp collisions, track detectors at the LHC, QCD and electroweak processes at the LHC, calorimeters of the LHC detectors, trigger and data acquisition systems, physics of the top quark, search and study of the Higgs boson, search for new physics, search for supersymmetry, outlook.</i></p>				
Lehrveranstaltungen und Lehrformen	<ul style="list-style-type: none"> • Teilchenphysik und der Large Hadron Collider (LHC): Beschleuniger, Detektoren und Physik (V) • Übungen zur Teilchenphysik und der Large Hadron Collider (LHC): Beschleuniger, Detektoren und Physik (Ü) 				4 SWS
					2 SWS
Arbeitsaufwand (Teilleistungen und insgesamt)		LP	P (Std)	S (Std)	PV (Std)
	<ul style="list-style-type: none"> • Vorlesung • Übung 	6	56	62	62
	Gesamtaufwand	2	28	32	-
		8	84	94	62
Studien-/Prüfungsleistungen	<p>Prüfungsart: Klausur oder mündliche Prüfung <i>written or oral examination</i></p> <p>Sprache der Prüfung: Deutsch oder Englisch</p> <p>Abweichungen werden zu Beginn der Veranstaltung bekannt gegeben.</p>				
Dauer	1 Semester				
Häufigkeit des Angebots	jährlich				
Literatur	<p>„Elementarteilchenphysik“, Berger, Springer, 2006</p> <p>„Collider Physics“, Barger + Phillips, Addison Wesley</p> <p>„Quarks and Leptons“, Halzen + Martin, Wiley, 1984</p> <p>„Feynman-Graphen und Eichtheorien für Experimentalphysiker“, Schmüser, Springer, 1988</p> <p>„Physics at the Terascale“, Brock+ Schörner-Sadenius (Eds.) Wiley, 2011</p>				

	The ATLAS Experiment at the CERN LHC, JINST 3:S08003, 2008 The CMS Experiment at the CERN LHC, JINST 3:S08004, 2008
--	--

Modultitel	Quantenmechanik II				
Modulnummer/-kürzel	PHY-MV-BE-T01				
Semester	Wintersemester				
Verwendbarkeit, Modultyp und Zuordnung zum Curriculum	<ul style="list-style-type: none"> • Nanowissenschaften (M.Sc.): Wahlpflichtmodul • Physik (M.Sc.): Wahlpflichtmodul • Physics (M.Sc.): Wahlpflichtmodul 				
Voraussetzungen für die Teilnahme	Verbindlich: keine Empfohlen: Vorlesung Theoretische Physik II (Quantenmechanik I)				
Modulverantwortliche/r	Prof. Dr. Peter Schmelcher				
Lehrende	Mitglieder des Lehrkörpers aus dem Fachbereich Physik				
Sprache	Deutsch oder Englisch				
Qualifikationsziele	<p>Die Studierenden kennen systematische Behandlung der quantenmechanischen Beschreibung von Vielteilchensystemen und der relativistischen Quantenmechanik sowie des Konzepts von Feldoperatoren in zweiter Quantisierung. Sie besitzen die Fähigkeit zur mathematischen Beschreibung relativistischer Teilchen (Fermionen und Bosonen).</p> <p><i>The students know systematic treatment of the quantum mechanical description of many-particle systems and relativistic quantum mechanics as well as the concept of field operators in second quantisation. They have the ability to mathematically describe relativistic particles (fermions and bosons).</i></p>				
Inhalt	<p>Zweite Quantisierung; Mehrteilchenzustände; Fock-Raum; Feldoperatoren; Fermionen und Bosonen; Streutheorie und Korrelationsfunktionen; relativistische Wellengleichungen: Klein-Gordon und Dirac-Gleichung; Kovarianz und Symmetrien der Dirac-Gleichung; Dirac-Gleichung im elektromagnetischen Feld: Exakte Lösungen und Strahlungskorrekturen</p> <p><i>Second quantisation; multi-particle states; Fock space; field operators; fermions and bosons; scattering theory and correlation functions; relativistic wave equations: Klein-Gordon and Dirac equation; covariance and symmetries of the Dirac equation; Dirac equation in the electromagnetic field: exact solutions and radiation corrections.</i></p>				
Lehrveranstaltungen und Lehrformen	<ul style="list-style-type: none"> • Quantenmechanik II (V) • Übungen zur Quantenmechanik II (Ü) 			4 SWS	2 SWS
Arbeitsaufwand (Teilleistungen und insgesamt)		LP	P (Std)	S (Std)	PV (Std)
	<ul style="list-style-type: none"> • Vorlesung • Übung 	6	56	62	62
	Gesamtaufwand	8	84	94	62

Studien- /Prüfungsleistungen	Prüfungsart: Klausur oder mündliche Prüfung <i>written or oral examination</i> Sprache der Prüfung: Deutsch oder Englisch Abweichungen werden zu Beginn der Veranstaltung bekannt gegeben.
Dauer	1 Semester
Häufigkeit des Angebots	jährlich
Literatur	Vorlesungsskript / notes of the lecturer; C. Cohen-Tannoudji, B. Diu, and F. Laloe, Quantum Mechanics, Volume 2; John Wiley & Sons, 1991; F. Schwabl, Quantenmechanik für Fortgeschrittene (QM II), Springer, 2008; S. Weinberg, Quantum Mechanics, Cambridge University Press, 2013.

Modultitel	Physics of the Standard Model
Modulnummer/-kürzel	PHY-MV-BE-T02
Semester	Sommersemester
Verwendbarkeit, Modultyp und Zuordnung zum Curriculum	<ul style="list-style-type: none"> • Physik (M.Sc.): Wahlpflichtmodul • Physics (M.Sc.): Wahlpflichtmodul
Voraussetzungen für die Teilnahme	Verbindlich: keine Empfohlen: Quantenmechanik, Kern- und Teilchenphysik, Quantum Field Theory I, Advanced Particle Physics
Modulverantwortliche/r	Prof. Dr. Gudrid Moortgat-Pick
Lehrende	Mitglieder des Lehrkörpers aus dem Fachbereich Physik
Sprache	Englisch
Qualifikationsziele	<p>Die Studierenden kennen die Struktur des Standardmodells (QCD und elektroschwacher Sektor), haben Quantenfeldtheorie, Gruppentheorie und Eichsymmetrien angewendet, lernen die störungstheoretischen Ansätze, kennen die Grundlagen von pp- und ei-basierten Beschleunigerexperimenten (LHC, Leptonbeschleuniger) und können sowohl in der theoretischen wie auch experimentellen Physik Studien anfertigen.</p> <p><i>The students know the structure of the Standard Model (QCD and electroweak sector), have applied quantum field theory, group theory and gauge symmetries, learn the perturbation theory approaches, know the basics of pp- and ei-based accelerator experiments (LHC, lepton accelerator) and can perform studies in both theoretical and experimental physics.</i></p>
Inhalt	<p>Yang-Mills Theorien, QCD-Phänomenologie, Renormierung, Verknüpfung von Kopplungen, elektroschwache Wechselwirkungen, Higgs-Mechanismus, Collider- Phänomenologie, Monte Carlo Simulation, Flavourphysik, CKM-Matrix, CP-Verletzung, Neutrino-physik und Oszillationen, Anomalien, BL, starker CP, Nachteile des Standardmodells.</p> <p><i>Yang-Mills theories, QCD phenomenology, renormalisation, linking couplings, electroweak interactions, Higgs mechanism, collider phenomenology, Monte Carlo</i></p>

	<i>simulation, Fourier physics, CKM matrix, CP violation, neutrino physics and oscillations, anomalies, BL, strong CP, drawbacks of the Standard Model.</i>				
Lehrveranstaltungen und Lehrformen	<ul style="list-style-type: none"> • Physics of the Standard Model (V) • Exercises in Physics of the Standard Model (Ü) 				3 SWS 1 SWS
Arbeitsaufwand (Teilleistungen und insgesamt)		LP	P (Std)	S (Std)	PV (Std)
	• Vorlesung	5	42	54	54
	• Übung	1	14	16	-
	Gesamtaufwand	6	56	70	54
Studien-/Prüfungsleistungen	Prüfungsart: Klausur oder mündliche Prüfung <i>written or oral examination</i> Sprache der Prüfung: Englisch Abweichungen werden zu Beginn der Veranstaltung bekannt gegeben.				
Dauer	1 Semester				
Häufigkeit des Angebots	jährlich				
Literatur	Quantum Field theory and the Standard Model, Matthew Schwartz The Standard Model, a primer, Burgess and Moore A modern introduction to QFT, Maggiore An introduction to QFT, Peskin and Schroeder				

Modultitel	Introduction to Supersymmetry and Supergravity
Modulnummer/-kürzel	PHY-MV-BE-T03
Semester	Wintersemester
Verwendbarkeit, Modultyp und Zuordnung zum Curriculum	<ul style="list-style-type: none"> • Physik (M.Sc.): Wahlpflichtmodul • Physics (M.Sc.): Wahlpflichtmodul
Voraussetzungen für die Teilnahme	Verbindlich: keine Empfohlen: Theoretische Physik I und II
Modulverantwortliche/r	Prof. Dr. Gudrid Moortgat-Pick
Lehrende	Mitglieder des Lehrkörpers aus dem Fachbereich Physik
Sprache	Englisch
Qualifikationsziele	Die Studierenden kennen die mathematische Struktur von Supersymmetrie, lernen die Supersymmetrische Lie Algebra anzuwenden, rechnen im Superraum und können supersymmetrische Transformationen und feldtheoretische Berechnungen in Supergravity durchführen und kennen die GUT Theorie. <i>The students know the mathematical structure of supersymmetry, learn to apply the supersymmetric Lie algebra, calculate in superspace and can perform supersymmetric transformations and field theoretical calculations in supergravity and know the GUT theory.</i>

Inhalt	<ul style="list-style-type: none"> • Einführung in die Prinzipien der Supersymmetrie und Supergravitation • Supersymmetrie-Algebra und ihre Darstellungstheorie • Supersymmetrische Yang-Mills-Theorien • Das supersymmetrische Standardmodell • Erweiterte Supersymmetrie und Seiberg-Witten-Theorie • Supergravitation und ihre Kopplung an Materie. • Erweiterte Supergravitäten und ihre geometrischen Eigenschaften • Supersymmetrie und Supergravitation in beliebigen Dimensionen <p>- <i>Introduction to the principles of supersymmetry and supergravity</i></p> <p>- <i>Supersymmetry algebra and its representation theory</i></p> <p>- <i>Supersymmetric Yang-Mills Theories</i></p> <p>- <i>The supersymmetric standard model</i></p> <p>- <i>Extended supersymmetry and Seiberg-Witten theory</i></p> <p>- <i>Supergravity and its coupling to matter.</i></p> <p>- <i>Extended supergravities and their geometric properties</i></p> <p>- <i>Supersymmetry and supergravity in arbitrary dimensions</i></p>				
Lehrveranstaltungen und Lehrformen	<ul style="list-style-type: none"> • Introduction to Supersymmetry and Supergravity (V) • Exercises in Introduction to Supersymmetry and Supergravity (Ü) 			3 SWS	1 SWS
Arbeitsaufwand (Teilleistungen und insgesamt)		LP	P (Std)	S (Std)	PV (Std)
	<ul style="list-style-type: none"> • Vorlesung • Übung 	5	42	54	54
	Gesamtaufwand	1	14	16	-
		6	56	70	54
Studien-/Prüfungsleistungen	Prüfungsart: Klausur oder mündliche Prüfung <i>written or oral examination</i> Sprache der Prüfung: Englisch Abweichungen werden zu Beginn der Veranstaltung bekannt gegeben.				
Dauer	1 Semester				
Häufigkeit des Angebots	jährlich				
Literatur	Weinberg, S, Quantum Field Theory 3, Supersymmetry				

Modultitel	Quantenfeldtheorie I
Modulnummer/-kürzel	PHY-MV-BE-T04
Semester	Wintersemester
Verwendbarkeit, Modultyp und Zuordnung zum Curriculum	<ul style="list-style-type: none"> • Physik (M.Sc.): Wahlpflichtmodul • Physics (M.Sc.): Wahlpflichtmodul

Voraussetzungen für die Teilnahme	Verbindlich: keine Empfohlen: Theoretische Physik I und II
Modulverantwortliche/r	Prof. Dr. Gleb Arutyunov
Lehrende	Mitglieder des Lehrkörpers aus dem Fachbereich Physik
Sprache	Deutsch oder Englisch
Qualifikationsziele	<p>Ziel des Kurses ist es, sowohl theoretisch als auch technisch eine Einführung in die Quantenfeldtheorie zu geben.</p> <p>Studierende kennen Kanonische Quantisierung und Pfadintegralquantisierungsverfahren für bosonische und fermionische Felder mit Schwerpunkt auf Symmetrien, Funktionaltechniken mit dem erzeugenden Funktional und Korrelationsfunktionen und Störungstheorien in Form von Feynman-Diagrammen. Sie kennen die Formulierung von nicht-abelschen Eichtheorien.</p> <p>Nach Abschluss des Moduls besitzen die Studierenden die Kenntnisse der Poincaré und internen Symmetrien, des Noether-Theorems, der diskreten Symmetrien, der kanonischen Quantisierung der Klein-Gordon-, Dirac- und elektromagnetischer Felder, das Konzept der Eichinvarianz, der asymptotischen Zustände und S-Matrix, der Pfadintegralquantisierung, die Definition von Korrelationsfunktionen, des erzeugenden Funktionals von Korrelationsfunktionen, des Wick-Theorems, von Feynman-Diagrammen, von Selbstenergie- und Vertexfunktionen sowie von Dimensionsregularisierung und Renormierungsgruppe.</p> <p>Zu einer gegebenen Lagrange-Dichte sind die Studenten in der Lage, ihre globalen und lokalen Symmetrien zu identifizieren, um die dynamischen Invarianten zu bestimmen, die Feynman-Regeln abzuleiten und die Feynman-Diagramme für einen gegebenen Streuprozess oder eine Korrelationsfunktion zu konstruieren.</p> <p><i>The aim of the course is to provide both a theoretical and technical introduction to quantum field theory.</i></p> <p><i>Students know canonical quantisation and path integral quantisation techniques for bosonic and fermionic fields with emphasis on symmetries, functional techniques with the generating functional and correlation functions and perturbation theories in the form of Feynman diagrams. They know the formulation of non-Abelian gauge theories.</i></p> <p><i>Upon completion of the module, students have the knowledge of Poincaré and internal symmetries, Noether's theorem, discrete symmetries, canonical quantisation of Klein-Gordon, Dirac and electromagnetic fields, the concept of gauge invariance, asymptotic states and S-matrix, the path integral quantisation, the definition of correlation functions, the generating functional of correlation functions, the Wick theorem, Feynman diagrams, self-energy and vertex functions, and dimensional regularisation and renormalisation group.</i></p> <p><i>For a given Lagrangian density, students are able to identify its global and local symmetries to determine the dynamical invariants, derive the Feynman rules and construct the Feynman diagrams for a given scattering process or correlation function.</i></p>
Inhalt	Kanonische Quantisierung und Pfadintegralquantisierungsverfahren für bosonische und fermionische Felder werden eingehend erörtert. Ein Schwerpunkt wird auf Symmetrien, Funktionaltechniken mit dem erzeugenden Funktional und Korrelationsfunktionen und auf Störungstheorie in Form von Feynman-Diagrammen gelegt werden. Eine Vogelperspektive auf

	Renormalisierungsverfahren und nicht-abelschen Eichtheorien wird angeboten. Die Vorlesung wird mit Übungen ergänzt. <i>Canonical quantisation and path integral quantisation techniques for bosonic and fermionic fields will be discussed in depth. Emphasis will be placed on symmetries, functional techniques with the generating functional and correlation functions, and perturbation theory in the form of Feynman diagrams. A bird's eye view on renormalisation techniques and non-Abelian gauge theories will be offered. The lecture will be complemented with exercises.</i>				
Lehrveranstaltungen und Lehrformen	<ul style="list-style-type: none"> • Quantenfeldtheorie I (V) • Übungen zur Quantenfeldtheorie I (Ü) 				4 SWS 2 SWS
Arbeitsaufwand (Teilleistungen und insgesamt)		LP	P (Std)	S (Std)	PV (Std)
	<ul style="list-style-type: none"> • Vorlesung • Übung 	6	56	62	62
	Gesamtaufwand	2	28	32	-
		8	84	94	62
Studien-/Prüfungsleistungen	Prüfungsart: Klausur oder mündliche Prüfung <i>written or oral examination</i> Sprache der Prüfung: Deutsch oder Englisch Abweichungen werden zu Beginn der Veranstaltung bekannt gegeben.				
Dauer	1 Semester				
Häufigkeit des Angebots	jährlich				
Literatur	Vorlesungsskript / notes of the lecturer; T. Lancaster and S. J. Blundell, Quantum Field Theory for the Gifted Amateur, Oxford University Press, 2014; M. E. Peskin and D. V. Schroeder, An Introduction to Quantum Field Theory, Perseus Books, The Advanced Book Program, 1995.				

Modultitel	Quantenfeldtheorie II
Modulnummer/-kürzel	PHY-MV-BE-T06
Semester	Sommersemester
Verwendbarkeit, Modultyp und Zuordnung zum Curriculum	<ul style="list-style-type: none"> • Physik (M.Sc.): Wahlpflichtmodul • Physics (M.Sc.): Wahlpflichtmodul
Voraussetzungen für die Teilnahme	Verbindlich: keine Empfohlen: Theoretische Physik I und II, Quantenfeldtheorie I
Modulverantwortliche/r	Prof. Dr. Gleb Arutyunov
Lehrende	Mitglieder des Lehrkörpers aus dem Fachbereich Physik
Sprache	Deutsch oder Englisch

Qualifikationsziele	<p>Die Studierenden haben vertieftes und erweitertes Wissen der Quantenfeldtheorie. Sie kennen Renormierungstechniken, nicht-abelsche Eichtheorien und deren kovariante Quantisierungsmethoden. Sie können die spontane Symmetriebrechung und topologische Lösungen in der Quantenfeldtheorie diskutieren.</p> <p>Das Lernergebnis beinhaltet weiterhin das Verständnis der Grundlagen der S-Matrix der Quantenelektrodynamik, einschließlich der Selbstenergie des Elektrons, der Vakuumpolarisation und des anomalen magnetischen Momentes des Elektrons. Weiterhin umfasst es das Wissen über die kovariante Faddeev-Popov-Methode und die BRST-Symmetrie. Das Goldstone-Theorem und das Higgs-Phänomen gehören auch zum Curriculum.</p> <p>Die Studenten werden in der Lage sein, Renormierungsgruppengleichungen für die Vertex- und Greensfunktionen herzuleiten, um die Betafunktion in der Quantenelektrodynamik zu einer Schleife und in einer generischen nicht-abelschen Eichtheorie zu berechnen. Sie werden ein Verständnis des Landau-Pols und der asymptotischen Freiheit erlangen und die Konsequenzen der spontanen Brechung globaler und lokaler Symmetrien erklären können.</p> <p><i>The students have a deepened and extended knowledge of quantum field theory. They know renormalisation techniques, non-Abelian gauge theories and their covariant quantisation methods. They can discuss spontaneous symmetry breaking and topological solutions in quantum field theory.</i></p> <p><i>The learning outcome further includes the understanding of the basics of the S-matrix of quantum electrodynamics, including the self-energy of the electron, vacuum polarisation and the anomalous magnetic moment of the electron. Furthermore, it includes the knowledge of the covariant Faddeev-Popov method and the BRST symmetry. The Goldstone theorem and the Higgs phenomenon are also part of the curriculum.</i></p> <p><i>Students will be able to derive renormalisation group equations for the vertex and Green's functions to calculate the beta function in quantum electrodynamics to a loop and in a generic non-Abelian gauge theory. You will gain an understanding of the Landau pole and asymptotic freedom and be able to explain the consequences of spontaneous breaking of global and local symmetries.</i></p>				
Inhalt	<p>Ziel des Kurses ist es, das Wissen der Quantenfeldtheorie zu vertiefen und zu erweitern sowie die Kompetenz der Studierenden weiter zu entwickeln. Dies beinhaltet eine durchgehende Behandlung von Renormierungstechniken, Einführung in nicht-abelsche Eichtheorien und deren kovariante Quantisierungsmethoden, Diskussion der spontanen Symmetriebrechung und topologische Lösungen in der Quantenfeldtheorie. Die Vorlesung wird durch Übungen ergänzt.</p> <p><i>The aim of the course is to deepen and broaden the knowledge of quantum field theory and to further develop the students' competence. This includes a through treatment of renormalisation techniques, introduction to non-Abelian gauge theories and their covariant quantisation methods, discussion of spontaneous symmetry breaking and topological solutions in quantum field theory. The lecture is complemented by exercises.</i></p>				
Lehrveranstaltungen und Lehrformen	<ul style="list-style-type: none"> • Quantenfeldtheorie II (V) • Übungen zur Quantenfeldtheorie II (Ü) 			4 SWS	2 SWS
Arbeitsaufwand (Teilleistungen und insgesamt)	<ul style="list-style-type: none"> • Vorlesung • Übung 	LP 6 2	P (Std) 56 28	S (Std) 62 32	PV (Std) 62 -

	Gesamtaufwand	8	84	94	62
Studien- /Prüfungsleistungen	Prüfungsart: Klausur oder mündliche Prüfung <i>written or oral examination</i> Sprache der Prüfung: Deutsch oder Englisch Abweichungen werden zu Beginn der Veranstaltung bekannt gegeben.				
Dauer	1 Semester				
Häufigkeit des Angebots	jährlich				
Literatur	Vorlesungsskript / Notes of the lecturer; M. E. Peskin and D. V. Schroeder, An Introduction to Quantum Field Theory, Perseus Books, The Advanced Book Program, 1995.				

Modultitel	Theory of General Relativity				
Modulnummer/-kürzel	PHY-MV-BE-T07				
Semester	Wintersemester				
Verwendbarkeit, Modultyp und Zuordnung zum Curriculum	<ul style="list-style-type: none"> • Physik (M.Sc.): Wahlpflichtmodul • Physics (M.Sc.): Wahlpflichtmodul 				
Voraussetzungen für die Teilnahme	Verbindlich: keine Empfohlen: klassische Feldtheorie, Quantenmechanik, Kern- und Teilchenphysik				
Modulverantwortliche/r	Prof. Dr. Günter Sigl				
Lehrende	Mitglieder des Lehrkörpers aus dem Fachbereich Physik				
Sprache	Englisch				
Qualifikationsziele	<p>Die Studierenden kennen die Grundlagen der allgemeinen Relativitätstheorie. Sie sind in der Lage Forschungsprojekte zu Themen der Feldtheorie, theoretischen Kosmologie und mathematischen Physik zum Beispiel im Rahmen einer Master-Thesis in Angriff zu nehmen.</p> <p><i>The students know the basics of general relativity. They are able to tackle research projects on topics of field theory, theoretical cosmology and mathematical physics, for example within the framework of a Master's thesis.</i></p>				
Inhalt	<p>Relativitätsprinzipien, spezielle Relativitätstheorie, Grundlagen der Differentialgeometrie, Einstein Gleichungen, Schwarzschild-Metrik, experimentelle Tests der Gravitationstheorie, Gravitationswellen, Grundlagen der und Anwendungen auf die Kosmologie.</p> <p><i>Principles of relativity, special relativity, basics of differential geometry, Einstein equations, Schwarzschild metrics, experimental tests of gravitational theory, gravitational waves, basics of and applications to cosmology.</i></p>				
Lehrveranstaltungen und Lehrformen	<ul style="list-style-type: none"> • Thoery of General Relativity (V) • Exercises in Thoery of General Relativity (Ü) 			4 SWS	2 SWS
	LP	P (Std)	S (Std)	PV (Std)	

Arbeitsaufwand (Teilleistungen und insgesamt)	<ul style="list-style-type: none"> • Vorlesung • Übung 	6	56	62	62
	Gesamtaufwand	2	28	32	-
		8	84	94	62
Studien- /Prüfungsleistungen	Prüfungsart: Klausur oder mündliche Prüfung <i>written or oral examination</i> Sprache der Prüfung: Englisch Abweichungen werden zu Beginn der Veranstaltung bekannt gegeben.				
Dauer	1 Semester				
Häufigkeit des Angebots	jährlich				
Literatur	Steven Weinberg: Gravitation and Cosmology, New York: John Wiley and Sons, 1972. Steven Weinberg (2008), Cosmology, Oxford University Press Robert M. Wald: General Relativity, University of Chicago Press, 1984. C. W. Misner, K. S. Thorne, J. A. Wheeler: Gravitation, Palgrave Macmillan, 1973. Sean M. Carroll: Spacetime and Geometry: An Introduction to General Relativity, Addison Wesley, 2009. Sean M. Carroll: Lecture Notes on General Relativity. L. D. Landau, E. M. Lifshitz: Lehrbuch der theoretischen Physik II: Klassische Feldtheorie, Akademie Verlag Berlin 1984. Bernard F. Schutz: A First Course in General Relativity, Cambridge University Press, New York 1985 (2nd edition 2009). Bernard F. Schutz: Gravity from the Ground Up, Cambridge University Press, New York 2003. E. F. Taylor, J. A. Wheeler: Exploring Black Holes: Introduction to General Relativity, Addison-Wesley Longman, San Francisco 2000. J. B. Hartle: Gravity: An Introduction to Einstein's General Relativity, Addison-Wesley, San Francisco 2003.				

Modultitel	Introduction to String Theory
Modulnummer/-kürzel	PHY-MV-BE-T11
Semester	Sommersemester
Verwendbarkeit, Modultyp und Zuordnung zum Curriculum	<ul style="list-style-type: none"> • Physik (M.Sc.): Wahlpflichtmodul • Physics (M.Sc.): Wahlpflichtmodul
Voraussetzungen für die Teilnahme	Verbindlich: keine Empfohlen: Stringsteilkurs
Modulverantwortliche/r	Prof. Dr. Volker Schomerus
Lehrende	Mitglieder des Lehrkörpers aus dem Fachbereich Physik

Sprache	Englisch				
Qualifikationsziele	<p>Die Studierenden können nach erfolgreichem Besuch der Vorlesung weiterführende Fachliteratur und neuere Forschungsarbeiten auf dem Gebiet der Stringtheorie wissenschaftlich lesen und verstehen.</p> <p><i>After successful attendance of the lecture, students will be able to read and understand further literature and recent research papers in the field of string theory scientifically.</i></p>				
Inhalt	<p>Dieser Kurs behandelt die Grundlagen der String- und Superstringtheorie in flachen und gekrümmten Hintergründen. Die Themen umfassen: Klassische Strings, Quantisierung, Relation mit Eichtheorie und Gravitation, Supersymmetrie, Superstringtheorien sowie ausgewählte Kapitel der 2-dimensionalen konformen Quantenfeldtheorie, Calabi-Yau-Kompaktifizierungen und die AdS/CFT-Korrespondenz.</p> <p><i>This course covers the basics of string and superstring theory in flat and curved backgrounds. Topics include: Classical strings, quantization, relation with gauge theory and gravity, supersymmetry, superstring theories as well as selected chapters of 2-dimensional conformal quantum field theory, Calabi-Yau compactifications and the AdS/CFT correspondence.</i></p>				
Lehrveranstaltungen und Lehrformen	<ul style="list-style-type: none"> • Introduction to String Theory (V) • Exercises in Introduction to String Theory (Ü) 			2 SWS	2 SWS
Arbeitsaufwand (Teilleistungen und insgesamt)		LP	P (Std)	S (Std)	PV (Std)
	<ul style="list-style-type: none"> • Vorlesung • Übung 	3	28	32	30
	Gesamtaufwand	5	56	64	30
Studien-/Prüfungsleistungen	<p>Prüfungsart: Klausur oder mündliche Prüfung <i>written or oral examination</i></p> <p>Sprache der Prüfung: Englisch</p> <p>Abweichungen werden zu Beginn der Veranstaltung bekannt gegeben.</p>				
Dauer	1 Semester				
Häufigkeit des Angebots	jährlich				
Literatur	Wird in der Veranstaltung bekannt gegeben.				

Modultitel	Phenomenology of Physics beyond the Standard Model
Modulnummer/-kürzel	PHY-MV-BE-T12
Semester	Wintersemester
Verwendbarkeit, Modultyp und Zuordnung zum Curriculum	<ul style="list-style-type: none"> • Physik (M.Sc.): Wahlpflichtmodul • Physics (M.Sc.): Wahlpflichtmodul
Voraussetzungen für die Teilnahme	<p>Verbindlich: keine</p> <p>Empfohlen: Quantenmechanik, Kern- und Teilchenphysik, Quantum Field Theory I, Advanced particle Physics or Physics of the Standard Model</p>

Modulverantwortliche/r	Prof. Dr. Gudrid Moortgat-Pick				
Lehrende	Mitglieder des Lehrkörpers aus dem Fachbereich Physik				
Sprache	Englisch				
Qualifikationsziele	<p>Die Studierenden kennen die offenen Fragen des Standard Modells (Dunkle Materie, Baryon-Antibaryon Asymmetrie, etc.), welche Erweiterungen der Theorie möglich sind, um diese Fragen zu klären, welche Beschreibungsmöglichkeiten es gibt (effektive Theorien, konkrete Modelle), bekommen einen Überblick über Modelle und lernen deren Symmetrien und Struktur kennen und mit welchen Observablen diese Modelle an beschleuniger-basierten (LHC, e+e- Beschleuniger, Muon-Beschleuniger) und nicht-beschleuniger-basierte Experimente (Gravitationswellen, ALPS, etc.) delektiert werden können.</p> <p><i>The students know the open questions of the standard model (dark matter, baryon-antibaryon asymmetry, etc.), which extensions of the theory are possible to clarify these questions, which description possibilities there are (effective theories, concrete models), get an overview of models and learn about their symmetries and structure and with which observables these models can be delegated to accelerator-based (LHC, e+e accelerator, Muon accelerator) and non-accelerator-based experiments (gravitational waves, ALPS, etc.).</i></p>				
Inhalt	<p>Phänomenologie an Beschleunigern für verschiedene Modelle der Physik jenseits des Standardmodells, Supersymmetrie, Extra Dimension Modelle, Modelle mit extra Eichbosonen, Yang-Mills-Theorien, QCD-Phänomenologie, Renormierung, Verknüpfung von Kopplungen, Electroweak-Wechselwirkungen, Higgs-Mechanismus, Higgs-Physik, LHC-Phänomenologie, Monte-Carlo-Werkzeuge, Flavour-Physik, CKM-Matrix, CP-Verletzung, Neutrinophysik und Oszillationen, Anomalien, B-L, starke CP, Nachteile des Standardmodells.</p> <p><i>Phenomenology at accelerators for different models of physics beyond the Standard Model, supersymmetry, extra dimension model-le, models with extra gauge bosons, Yang-Mills theories, QCD phenomenology, renormalisation, linking couplings, Electroweak interactions, Higgs mechanism, Higgs physics, LHC phenomenology, Monte Carlo tools, flavour physics, CKM matrix, CP violation, neutrino physics and oscillations, anomalies, B-L, strong CP, drawbacks of the Standard Model.</i></p>				
Lehrveranstaltungen und Lehrformen	<ul style="list-style-type: none"> Phenomenology of Physics beyond the Standard Model (V) Exercises in Phenomenology of Physics beyond the Standard Model (Ü) 			3 SWS	1 SWS
Arbeitsaufwand (Teilleistungen und insgesamt)		LP	P (Std)	S (Std)	PV (Std)
	<ul style="list-style-type: none"> Vorlesung Übung 	5	42	54	54
	Gesamtaufwand	1	14	16	-
		6	56	70	54
Studien-/Prüfungsleistungen	<p>Prüfungsart: Klausur oder mündliche Prüfung <i>written or oral examination</i> Sprache der Prüfung: Englisch Abweichungen werden zu Beginn der Veranstaltung bekannt gegeben.</p>				
Dauer	1 Semester				
Häufigkeit des Angebots	jährlich				

Literatur	<p>Quantum Field theory and the Standard Model, Matthew Schwartz</p> <p>The Standard Model, a primer, Burgess and Moore</p> <p>A modern introduction to QFT, Maggiore</p> <p>An introduction to QFT, Peskin and Schroeder</p>
-----------	---

Modultitel	Quantum Chromodynamics (Advanced Topic in Particle Physics)				
Modulnummer/-kürzel	PHY-MV-BE-T22				
Semester	Wintersemester				
Verwendbarkeit, Modultyp und Zuordnung zum Curriculum	<ul style="list-style-type: none"> • Physik (M.Sc.): Wahlpflichtmodul • Physics (M.Sc.): Wahlpflichtmodul 				
Voraussetzungen für die Teilnahme	<p>Verbindlich: keine</p> <p>Empfohlen: Grundkenntnisse der Teilchenphysik, Kenntnisse in Quantenfeldtheorie</p>				
Modulverantwortliche/r	Prof. Dr. Gudrid Moortgat-Pick				
Lehrende	Prof. Dr. Gudrid Moortgat-Pick, Dr. Markus Diehl				
Sprache	Englisch				
Qualifikationsziele	<p>Die Teilnehmer kennen die Hauptmerkmale der Quantenchromodynamik als Quantenfeldtheorie, insbesondere die Rolle, die Symmetrien und Quantenschleifen spielen. Darüber hinaus können die Teilnehmer die Herausforderungen einer quantitativen Beschreibung der Prozesse bei modernen Particle Collidern, insbesondere des LHC, bewerten.</p> <p><i>The participants know the main features of quantum chromodynamics as a quantum field theory, in particular the role played by symmetries and quantum loops. Furthermore, the participants will be able to evaluate the challenges of a quantitative description of the processes at modern particle colliders, in particular the LHC.</i></p>				
Inhalt	<p>- Symmetrien der QCD und ihre Folgen</p> <p>- Störungstheorie, Renormalisierung und die laufende Kopplung</p> <p>- Konzepte und Werkzeuge zur Beschreibung der QCD in Experimenten mit hoher Energie.</p> <p><i>- Symmetries of QCD and their consequences</i></p> <p><i>- Perturbation theory, renormalisation and the ongoing coupling.</i></p> <p><i>- Concepts and tools for describing QCD in high energy experiments.</i></p>				
Lehrveranstaltungen und Lehrformen	<ul style="list-style-type: none"> • Quantum Chromodynamics (Advanced Topic in Particle Physics) (V) 			2 SWS	
Arbeitsaufwand (Teilleistungen und insgesamt)	<ul style="list-style-type: none"> • Vorlesung 	LP 3	P (Std) 28	S (Std) 32	PV (Std) 30
	Gesamtaufwand	3	28	32	30

Studien- /Prüfungsleistungen	Prüfungsart: Klausur oder mündliche Prüfung <i>written or oral examination</i> Sprache der Prüfung: Englisch Abweichungen werden zu Beginn der Veranstaltung bekannt gegeben.
Dauer	1 Semester
Häufigkeit des Angebots	zweijährlich
Literatur	J. Collins, Foundations of Perturbative QCD, Cambridge University Press, 2011 G. Sterman, An Introduction to Quantum Field Theory, Cambridge University Press, 1993

Modultitel	Introduction to Conformal Field Theory			
Modulnummer/-kürzel	PHY-MV-BE-T25			
Semester	Sommersemester			
Verwendbarkeit, Modultyp und Zuordnung zum Curriculum	<ul style="list-style-type: none"> • Physik (M.Sc.): Wahlpflichtmodul • Physics (M.Sc.): Wahlpflichtmodul 			
Voraussetzungen für die Teilnahme	Verbindlich: keine Empfohlen: Theoretical Physics 1-3, Grundwissen in Quantenfeldtheorie.			
Modulverantwortliche/r	Prof. Dr. Volker Schomerus			
Lehrende	Mitglieder des Lehrkörpers aus dem Fachbereich Physik			
Sprache	Englisch			
Qualifikationsziele	<p>Die Studierenden können nach erfolgreichem Besuch der Vorlesung weiterführender Fachliteratur und neuere Forschungsarbeiten auf dem Gebiet der konformen Quantenfeldtheorie wissenschaftlich lesen und verstehen.</p> <p><i>After successful attendance of the lecture, students will be able to read and understand further literature and recent research papers in the field of conformal quantum field theory scientifically.</i></p>			
Inhalt	<p>Der Kurs bietet eine Einführung in konforme Quantenfeldtheorien (CFTs), ihre Anwendungen und Methoden. Behandelte Themen: Konforme Symmetrie, Korrelationsfunktionen, Operatorproduktentwicklungen, 2-dimensionale CFT (Virasoro-algebra und deren Darstellungen, minimale Modelle) und konformer Bootstrap in Dimension $d > 2$.</p> <p><i>The course provides an introduction to conformal quantum field theories (CFTs), their applications and methods. Topics covered: Conformal symmetry, correlation functions, operator product evolutions, 2-dimensional CFT (Virasoro algebra and its representations, minimal models) and conformal bootstrap in dimension $d > 2$.</i></p>			
Lehrveranstaltungen und Lehrformen	<ul style="list-style-type: none"> • Introduction to Conformal Field Theory (V) • Exercises in Introduction to Conformal Field Theory (Ü) 			2 SWS 1 SWS
	LP	P (Std)	S (Std)	PV (Std)

Arbeitsaufwand (Teilleistungen und insgesamt)	<ul style="list-style-type: none"> • Vorlesung • Übung 	3	28	32	30
	Gesamtaufwand	1	14	16	-
		4	42	48	30
Studien- /Prüfungsleistungen	Prüfungsart: Klausur oder mündliche Prüfung <i>written or oral examination</i> Sprache der Prüfung: Englisch Abweichungen werden zu Beginn der Veranstaltung bekannt gegeben.				
Dauer	1 Semester				
Häufigkeit des Angebots	zweijährlich				
Literatur	Weinberg, S, Quantum Field Theory				

Modultitel	Computer Algebra and Particle Physics				
Modulnummer/-kürzel	PHY-MV-BE-T29				
Semester	Wintersemester				
Verwendbarkeit, Modultyp und Zuordnung zum Curriculum	<ul style="list-style-type: none"> • Physik (M.Sc.): Wahlpflichtmodul • Physics (M.Sc.): Wahlpflichtmodul 				
Voraussetzungen für die Teilnahme	Verbindlich: keine Empfohlen: Quantenphysik				
Modulverantwortliche/r	Prof. Dr. Sven-Olaf Moch				
Lehrende	Prof. Dr. Sven-Olaf Moch				
Sprache	Englisch				
Qualifikationsziele	Die Studierenden haben Grundkenntnisse über Algorithmen, die für die theoretische Teilchenphysik relevant sind und Erfahrungen im Umgang mit Computeralgebrasystemen. <i>Students have basic knowledge of algorithms relevant to theoretical particle physics and experience in working with computer algebra systems.</i>				
Inhalt	Einführung in grundlegende Algorithmen und Computeralgebra-Systeme wie Mathematica, Maple oder FORM mit Schwerpunkt auf Anwendungen in der theoretischen Teilchenphysik; Definition und Verwendung von Ausdrücken, Mustern, Ersetzungen und Funktionen; Techniken zur Berechnung von Feynman-Integralen. Der Kurs beinhaltet Übungen und praktische Übungen mit moderner Software. <i>Introduction to basic algorithms and computer algebra systems such as Mathematica, Maple or FORM with emphasis on applications in theoretical particle physics; definition and use of expressions, patterns, substitutions and functions; techniques for calculating Feynman integrals.</i> <i>The course includes exercises and hands-on practice with modern software.</i>				
Lehrveranstaltungen und Lehrformen	<ul style="list-style-type: none"> • Computer Algebra and Particle Physics (V) • Exercises in Computer Algebra and Particle Physics (Ü) 			3 SWS	1 SWS

Arbeitsaufwand (Teilleistungen und insgesamt)	<ul style="list-style-type: none"> • Vorlesung • Übung 	LP	P (Std)	S (Std)	PV (Std)
		5	42	54	54
	Gesamtaufwand	1	14	16	-
		6	56	70	54
Studien- /Prüfungsleistungen	Prüfungsart: Klausur oder mündliche Prüfung <i>written or oral examination</i> Sprache der Prüfung: Englisch Abweichungen werden zu Beginn der Veranstaltung bekannt gegeben.				
Dauer	1 Semester				
Häufigkeit des Angebots	zweijährlich				
Literatur	A. Grozin, Introduction to Mathematica for Physicists, Springer, 2014 J. von zur Gathen and J. Gerhard, Modern Computer Algebra, Cambridge University Press, 2013				

Biomedizinische Physik (Biomedical physics):

Modultitel	Biomedical Physics I
Modulnummer/-kürzel	PHY-MV-BP-E01
Semester	Wintersemester
Verwendbarkeit, Modultyp und Zuordnung zum Curriculum	<ul style="list-style-type: none"> • Nanowissenschaften (M.Sc.): Wahlpflichtmodul • Physik (M.Sc.): Wahlpflichtmodul • Physics (M.Sc.): Wahlpflichtmodul
Voraussetzungen für die Teilnahme	Verbindlich: keine Empfohlen: keine
Modulverantwortliche/r	Prof. Dr. Erika Garutti; Prof. Dr. Florian Grüner
Lehrende	Prof. Dr. Erika Garutti; Prof. Dr. Florian Grüner
Sprache	Englisch
Qualifikationsziele	Die Studierenden kennen moderne Methoden der medizinischen Bildgebung (PET, SPECT, MRI, CT, Multi-modal) und die grundlegenden Techniken der Strahlentherapie. <i>The students know modern methods of medical imaging (PET, SPECT, MRI, CT, multi-modal) and the basic techniques of radiation therapy.</i>
Inhalt	In diesem Kurs behandeln wir das komplexe Gebiet der verschiedenen Aspekte der medizinischen Therapie und Bildgebung, wobei letzteres im Vordergrund steht. Insbesondere diskutieren wir die physikalischen Grenzen heutiger medizinischer Bildgebungstechniken und behandeln die Frage, wie die Physik einen Mehrwert erbringen kann, indem wir die Grenzen weiter verschieben. Hauptaspekte sind die räumliche Auflösung und

	<p>Empfindlichkeit bei der Bildgebung von Tumorgewebe und / oder medizinischen Diagnostiken.</p> <p>Im Journal Club werden diese Themen im Hinblick auf die modernsten Entwicklungen in den Bereichen analysiert. Die Studierenden lernen auch, wie sie eine wissenschaftliche Publikation aufbauen und diskutieren können.</p> <p><i>In this course we cover the complex field of different aspects of medical therapy and imaging, with a focus on the latter. In particular, we discuss the physical limitations of current medical imaging techniques and address the question of how physics can add value by pushing the boundaries further. Main aspects are spatial resolution and sensitivity in imaging tumour tissue and / or medical diagnostics.</i></p> <p><i>In the Journal Club, these topics are analysed in light of the most modern developments in the fields. Students also learn how to build and discuss a scientific publication.</i></p>				
Lehrveranstaltungen und Lehrformen	<ul style="list-style-type: none"> • Biomedical Physics I (V) • Journal Club (Ü) 				2 SWS 2 SWS
Arbeitsaufwand (Teilleistungen und insgesamt)		LP	P (Std)	S (Std)	PV (Std)
	<ul style="list-style-type: none"> • Vorlesung • Übung/Journal Club 	3	28	32	30
	Gesamtaufwand	5	56	64	30
Studien-/Prüfungsleistungen	Prüfungsart: Klausur oder mündliche Prüfung <i>written or oral examination</i> Sprache der Prüfung: Englisch Abweichungen werden zu Beginn der Veranstaltung bekannt gegeben.				
Dauer	1 Semester				
Häufigkeit des Angebots	jährlich				
Literatur	J. L. Prince and J. M. Links: Medical imaging: signals and systems, Prentice Hall, 2006; C. Grupen and I. Buvat: Handbook of Particle Detection and Imaging; W. R. Leo: Techniques for Nuclear and Particle Physics Experiments, Springer.				

Modultitel	Biomedical Physics II
Modulnummer/-kürzel	PHY-MV-BP-E02
Semester	Sommersemester
Verwendbarkeit, Modultyp und Zuordnung zum Curriculum	<ul style="list-style-type: none"> • Nanowissenschaften (M.Sc.): Wahlpflichtmodul • Physik (M.Sc.): Wahlpflichtmodul • Physics (M.Sc.): Wahlpflichtmodul
Voraussetzungen für die Teilnahme	Verbindlich: keine Empfohlen: keine
Modulverantwortliche/r	Prof. Dr. Arwen Ruth Pearson
Lehrende	Prof. Dr. Arwen Ruth Pearson

Sprache	Englisch
Qualifikationsziele	<p>Die Studierenden kennen die Struktur von Makromolekülen, Zellen und Gewebe sowie mit Schlüsselfaktoren der zellulären und extrazellulären Biochemie im Zusammenhang mit Krankheiten, einschließlich Krebs.</p> <p><i>Students know the structure of macromolecules, cells and tissues and with key factors of cellular and extracellular biochemistry related to diseases, including cancer.</i></p>
Inhalt	<p>In diesem Kurs werden wir die Grundlagen der makromolekularen, zellulären und Gewebestruktur und -architektur aus biophysikalischer Sicht behandeln. Wir werden die Grundlagen des Metabolismus und der Homöostase, insbesondere der Regulation des Zellzyklus, behandeln, um die Veränderungen auf molekularer Ebene zu verstehen, welche mit dem Ausbruch der Krankheit verbunden sind. Dieser Kurs zielt darauf ab, die in „Biomedical Physics I“ vorgestellten Bildgebungs- und Detektionswerkzeuge in einen physiologischen Kontext zu stellen. Wir werden auch das Potenzial für kombinierte bildgebende und therapeutische Ansätze diskutieren.</p> <p>Im Journal Club werden diese Themen im Hinblick auf die modernsten Entwicklungen in den Bereichen analysiert. Die Studierenden lernen auch, wie sie eine wissenschaftliche Publikation strukturieren und diskutieren können.</p> <p>Insbesondere werden folgende Themen im Kurs vorgestellt:</p> <ul style="list-style-type: none"> - Makromolekulare Struktur und Funktion; - Die Architektur der Zelle; - biologische Homöostase; - Der Zellzyklus; - Stoffwechselwege und Regulierung; - Intra- und Interzellularkommunikation; - Therapeutische Liefermittel. <p><i>In this course we will cover the basics of macromolecular, cellular and tissue structure and architecture from a biophysical perspective. We will cover the basics of metabolism and homeostasis, especially the regulation of the cell cycle, in order to understand the changes at the molecular level associated with the onset of disease. This course aims to put the imaging and detection tools presented in "Biomedical Physics I" into a physiological context. We will also discuss the potential for combined imaging and therapeutic approaches.</i></p> <p><i>In Journal Club, these topics will be analysed in light of cutting-edge developments in the fields. Students will also learn how to structure and discuss a scientific publication.</i></p> <p><i>In particular, the following topics will be presented in the course:</i></p> <ul style="list-style-type: none"> - <i>Macromolecular structure and function;</i> - <i>The architecture of the cell;</i> - <i>Biological homeostasis;</i> - <i>The cell cycle;</i> - <i>Metabolic pathways and regulation;</i> - <i>Intra- and intercellular communication;</i> - <i>Therapeutic delivery agents.</i>

Lehrveranstaltungen und Lehrformen	<ul style="list-style-type: none"> • Biomedical Physics II (V) • Journal Club (Ü) 				2 SWS 2 SWS
Arbeitsaufwand (Teilleistungen und insgesamt)		LP	P (Std)	S (Std)	PV (Std)
	<ul style="list-style-type: none"> • Vorlesung • Übung/Journal Club 	3	28	32	30
	Gesamtaufwand	2	28	32	-
		5	56	64	30
Studien-/Prüfungsleistungen	Prüfungsart: Klausur oder mündliche Prüfung <i>written or oral examination</i> Sprache der Prüfung: Englisch Abweichungen werden zu Beginn der Veranstaltung bekannt gegeben.				
Dauer	1 Semester				
Häufigkeit des Angebots	jährlich				
Literatur	Physical Biology of the Cell, Phillips, Kondev, Theriot & Orme. Garland Scientific.				

Modultitel	Biomedical Physics III
Modulnummer/-kürzel	PHY-MV-BP-E03
Semester	Wintersemester
Verwendbarkeit, Modultyp und Zuordnung zum Curriculum	<ul style="list-style-type: none"> • Nanowissenschaften (M.Sc.): Wahlpflichtmodul • Physik (M.Sc.): Wahlpflichtmodul • Physics (M.Sc.): Wahlpflichtmodul
Voraussetzungen für die Teilnahme	Verbindlich: keine Empfohlen: keine
Modulverantwortliche/r	Prof. Dr. Florian Grüner
Lehrende	Dr. Elisabetta Gargioni
Sprache	Englisch
Qualifikationsziele	Die Studierenden kennen die Grundlagen des Strahlungstransports und dessen Anwendung in der Strahlentherapie und im Strahlenschutz. Außerdem haben sie Grundkenntnisse zu der Rolle der medizinischen Bildgebung in der Strahlentherapie. <i>The students know the basics of radiation transport and its application in radiotherapy and radiation protection. They also have basic knowledge of the role of medical imaging in radiotherapy.</i>
Inhalt	In diesem Modul werden wir die grundlegenden Aspekte der Physik der Strahlentherapie und des Strahlenschutzes kennenlernen und den Schwerpunkt in den Strahlungstransport und die Dosisberechnung legen. Die Anwendung von multimodaler medizinischer Bildgebung in der Zielvolumen-Definition und der Bestrahlungsplanung werden außerdem diskutiert und analysiert.

	<p>Die Teilnahmen an den Modulen "Biomedical Physics I" und "Biomedical Physics II" sind keine Voraussetzung für dieses Modul.</p> <p>Folgende Aspekte werden hier behandelt:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Wechselwirkungen von Photonen und geladenen Teilchen mit Materie • Grundlagen des Strahlungstransports und der Monte-Carlo-Techniken • Grundlagen von Computertomographie, PET/SPECT und Magnetresonanz-Tomographie • Multimodale Bildgebung in der Strahlentherapie • Zielvolumendefinition und Bestrahlungstechniken • Grundlagen der Bestrahlungsplanung <p><i>In this module we will learn the basic aspects of the physics of radiotherapy and radiation protection and focus on radiation transport and dose calculation. The application of multimodal medical imaging in target volume definition and radiation planning will also be discussed and analysed.</i></p> <p><i>Participation in the modules "Biomedical Physics I" and "Biomedical Physics II" are not prerequisites for this module.</i></p> <p><i>The following aspects are covered here:</i></p> <ul style="list-style-type: none"> - Interactions of photons and charged particles with matter - Basics of radiation transport and Monte Carlo techniques - Basics of computed tomography, PET/SPECT and MRI - Multimodal imaging in radiotherapy - Target volume definition and irradiation techniques - Basics of radiation treatment planning 				
Lehrveranstaltungen und Lehrformen	<ul style="list-style-type: none"> • Biomedical Physics III (V) 				2 SWS
Arbeitsaufwand (Teilleistungen und insgesamt)		LP	P (Std)	S (Std)	PV (Std)
	<ul style="list-style-type: none"> • Vorlesung 	3	28	32	30
	Gesamtaufwand	3	28	32	30
Studien-/Prüfungsleistungen	<p>Prüfungsart: Mündliche Prüfung <i>oral examination</i></p> <p>Sprache der Prüfung: Englisch</p> <p>Abweichungen werden zu Beginn der Veranstaltung bekannt gegeben.</p>				
Dauer	1 Semester				
Häufigkeit des Angebots	Jährlich				
Literatur	<p>P. Mayles, A. Nahum, J. C. Rosenwald (Eds.), Handbook of Radiotherapy Physics – Theory and Practice, Taylor & Francis (2007);</p> <p>M. Goitein, Radiation Oncology: A Physicist's-Eye View, Springer (2008).</p>				

Modultitel	Biomedical Physics IV
Modulnummer/-kürzel	PHY-MV-BP-E04
Semester	Sommersemester

Verwendbarkeit, Modultyp und Zuordnung zum Curriculum	<ul style="list-style-type: none"> • Nanowissenschaften (M.Sc.): Wahlpflichtmodul • Physik (M.Sc.): Wahlpflichtmodul • Physics (M.Sc.): Wahlpflichtmodul
Voraussetzungen für die Teilnahme	Verbindlich: keine Empfohlen: keine
Modulverantwortliche/r	Prof. Dr. Florian Grüner
Lehrende	Dr. Elisabetta Gargioni
Sprache	Englisch
Qualifikationsziele	<p>Die Studierenden kennen die Grundlagen der Physik der Strahlentherapie. Außerdem haben sie Grundkenntnisse in der physikalischen und biologischen Optimierung eines Bestrahlungsplanes und der Anwendung verschiedener Bestrahlungstechniken und den Behandlungskonzepten für einige Tumorentitäten.</p> <p><i>The students know the basics of the physics of radiation therapy. They also have basic knowledge of the physical and biological optimisation of a radiation treatment plan and the application of different radiation techniques and treatment concepts for some tumour entities.</i></p>
Inhalt	<p>In diesem Modul werden Sie einen Einblick in die grundlegenden Aspekte der Physik in der Strahlentherapie und der mathematischen Modellierung in der Strahlenbiologie gewinnen, mit einem Schwerpunkt in den Bestrahlungstechniken und Therapiekonzepten. Aufbauend auf die Inhalte des Moduls „Biomedical Physics III“, werden wir den aktuellen Stand von Bestrahlungsplanung, Bestrahlungstechniken und Anwendung von multimodaler Bildgebung in der Strahlentherapie, insbesondere von beweglichen Tumoren diskutieren und analysieren.</p> <p>Während einer praktischen Abendsitzung in der Klinik für Strahlentherapie und Radioonkologie werden die Studierende die Möglichkeit haben, die grundlegenden Messdaten für die dosimetrische Charakterisierung eines medizinischen Linearbeschleunigers aufzunehmen und die Ergebnisse zu analysieren.</p> <p>Folgende Aspekte werden hier behandelt:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Bestrahlungstechniken und neue Bestrahlungsmethoden in moderner Strahlentherapie • Optimierungstechniken für die Bestrahlungsplanung • Dosimetrie und Qualitätssicherung in der Strahlentherapie • Behandlung beweglicher Tumore • Grundlagen der Fraktionierung und der fünf “R” der Strahlentherapie <p><i>In this module you will gain an insight into the fundamental aspects of physics in radiotherapy and mathematical modelling in radiobiology, with a focus on radiation techniques and therapy concepts. Building on the content of the module "Biomedical Physics III", we will discuss and analyse the current state of radiation planning, radiation techniques and application of multimodal imaging in radiotherapy, especially of moving tumours.</i></p> <p><i>During a practical evening session at the Department of Radiotherapy and Radiation Oncology, students will have the opportunity to record the basic measurement data</i></p>

	<p><i>for the dosimetric characterisation of a medical linear accelerator and analyse the results.</i></p> <p><i>The following aspects will be covered:</i></p> <ul style="list-style-type: none"> - <i>Radiation techniques and new treatment methods in modern radiotherapy.</i> - <i>Optimisation techniques for radiation treatment planning</i> - <i>Dosimetry and quality assurance in radiotherapy</i> - <i>Treatment of mobile tumours</i> - <i>Basics of fractionation and of the five “R” in radiotherapy</i> 				
Lehrveranstaltungen und Lehrformen	<ul style="list-style-type: none"> • Biomedical Physics IV (V) 				2 SWS
Arbeitsaufwand (Teilleistungen und insgesamt)	<ul style="list-style-type: none"> • Vorlesung 	LP 3	P (Std) 28	S (Std) 32	PV (Std) 30
	Gesamtaufwand	3	28	32	30
Studien-/Prüfungsleistungen	<p>Prüfungsart: Mündliche Prüfung <i>oral examination</i></p> <p>Sprache der Prüfung: Englisch</p> <p>Abweichungen werden zu Beginn der Veranstaltung bekannt gegeben.</p>				
Dauer	1 Semester				
Häufigkeit des Angebots	jährlich				
Literatur	<p>P. Mayles, A. Nahum, J. C. Rosenwald (Eds.), Handbook of Radiotherapy Physics – Theory and Practice, Taylor & Francis (2007);</p> <p>M. Goitein, Radiation Oncology: A Physicist’s-Eye View, Springer (2008).</p>				

Modultitel	Seminar on Biomedical Physics I
Modulnummer/-kürzel	PHY-MV-BP-E05
Semester	Wintersemester
Verwendbarkeit, Modultyp und Zuordnung zum Curriculum	<ul style="list-style-type: none"> • Nanowissenschaften (M.Sc.): Wahlpflichtmodul • Physik (M.Sc.): Wahlpflichtmodul • Physics (M.Sc.): Wahlpflichtmodul
Voraussetzungen für die Teilnahme	<p>Verbindlich: keine</p> <p>Empfohlen: keine</p>
Modulverantwortliche/r	Prof. Dr. Erika Garutti; Prof. Dr. Florian Grüner
Lehrende	Prof. Dr. Erika Garutti; Prof. Dr. Florian Grüner
Sprache	Englisch
Qualifikationsziele	<p>Die Studierenden besitzen das Wissen moderner Methoden der Bildgebung in der Medizin (PET, SPECT, MRI, CT, multimodal) und die grundlegenden Techniken der Strahlentherapie.</p> <p><i>Students have the knowledge of modern methods of imaging in medicine (PET, SPECT, MRI, CT, multimodal) and the basic techniques of radiotherapy.</i></p>

Inhalt	<p>In dieser Seminarreihe werden sechs Experten sechs relevante Themen in der biomedizinischen Physik vorstellen. Die Themen werden aus Sicht eines Arztes (konkrete Anwendung von Techniken in medizinischen Fällen) oder der industriellen Produzenten (Relevanz der Forschung aus Sicht der Industrialisierung) vorgestellt.</p> <p>(Das Seminar ergänzt das Modul "Biomedical Physics I" (PHY-MV-BP-E01). Es ist in zwei Teile geteilt: Der erste Teil ist eine Einführung in das Gebiet durch Experten des UKE und großen Unternehmen, die medizinische Bildgebungswerkzeuge entwickeln und produzieren. Der zweite Teil ist die Vorstellung von verwandten Themen durch die Kursteilnehmer.)</p> <p><i>In this seminar series, six experts will present six relevant topics in biomedical physics. The topics will be presented from the point of view of a doctor (concrete application of techniques in medical cases) or industrial producers (relevance of research from the point of view of industrialisation).</i></p> <p><i>(The seminar complements the module "Biomedical Physics I" (PHY-MV-BP-E01). It is divided into two parts: The first part is an introduction to the field by experts from UKE and major companies that develop and produce medical imaging tools. The second part is the presentation of related topics by the course participants).</i></p>				
Lehrveranstaltungen und Lehrformen	<ul style="list-style-type: none"> Seminar on Biomedical Physics I (S) 				2 SWS
Arbeitsaufwand (Teilleistungen und insgesamt)	<ul style="list-style-type: none"> Seminar 	LP 3	P (Std) 28	S (Std) 32	PV (Std) 30
	Gesamtaufwand	3	28	32	30
Studien-/Prüfungsleistungen	Prüfungsart: Referat mit schriftlicher Ausarbeitung Sprache der Prüfung: Englisch Abweichungen werden zu Beginn der Veranstaltung bekannt gegeben.				
Dauer	1 Semester				
Häufigkeit des Angebots	jährlich				
Literatur	Wird in der Veranstaltung bekannt gegeben.				

Festkörper- und Nanostrukturphysik (Solid state and nanostructure physics):

Modultitel	Advanced Solid State Lecture
Modulnummer/-kürzel	PHY-MV-FN-E01
Semester	Sommersemester
Verwendbarkeit, Modultyp und Zuordnung zum Curriculum	<ul style="list-style-type: none"> Nanowissenschaften (M.Sc.): Wahlpflichtmodul Physik (M.Sc.): Wahlpflichtmodul Physics (M.Sc.): Wahlpflichtmodul
Voraussetzungen für die Teilnahme	Verbindlich: keine Empfohlen: Physik IV (= Festkörperphysik) oder

	Nanostrukturphysik A und B
Modulverantwortliche/r	Prof. Dr. Robert H. Blick; Prof. Dr. Michael Rübhausen
Lehrende	Prof. Dr. Robert H. Blick; Prof. Dr. Michael Rübhausen
Sprache	Englisch
Qualifikationsziele	<p>Die Studierenden haben vertiefte Kenntnisse über den wissenschaftlichen Stand der Forschung in der Festkörper- und Nanostrukturphysik. Es ist vertieftes Fachwissen vorhanden, um eine experimentelle Master-Arbeit im Gebiet der Festkörper- und Nanostrukturphysik erfolgreich durchführen zu können.</p> <p><i>The students have in-depth knowledge of the scientific status of research in solid state and nanostructure physics. They have in-depth knowledge to be able to successfully carry out an experimental Master's thesis in the field of solid state and nanostructure physics.</i></p>
Inhalt	<p>Vertiefung aktueller Themen der Festkörperphysik; Experimentelle Methoden der Festkörperphysik; Zum Stoffumfang gehören:</p> <ul style="list-style-type: none"> - Klassischer Ladungs- und Wärmetransport nach Boltzmann, Lokalisierung, Interferenzeffekte, Coulomb-Blockade in Nanostrukturen, Spintransport; - Dielektrische Funktion von Festkörpern und Nanostrukturen, elementare Anregungen wie Plasmonen, Polaronen, Polaritonen, Exzitonen, Magnonen; - Metall-Isolator Übergänge (Mott Isolator, Hubbard-Modell); - Korrelierte Elektronensysteme am Beispiel von Hoch-Temperatur Supraleitern und Manganaten; - Riesenmagnetwiderstand und Spinströme (Interlagenaustausch-Kopplung, Spinventile und Exchange-Bias, Rashba-Effekt). <p>Darüber hinaus werden sie mit aktuellen Formalismen zur theoretischen Beschreibung von modernen Festkörpern, sofern sie für das experimentelle Verständnis notwendig sind (Fermis-Goldene Regel, Suszeptibilitäten, Response-Theorie, Propagatoren) vertraut gemacht und sie werden in aktuelle Fragestellungen der Festkörper- und Nanostrukturphysik und ihre experimentellen Methoden eingeführt. Schlüsselexperimente und Anwendungen neuer Materialien wie zum Beispiel Graphen oder topologische Isolatoren werden anhand von ausgewählten aktuellen Fachpublikationen vermittelt, mit denen sich die Studierenden in der Veranstaltung auseinandersetzen.</p> <p><i>In-depth study of current topics in solid state physics;</i> <i>Experimental methods in solid state physics;</i> <i>The scope of the material includes:</i></p> <ul style="list-style-type: none"> - <i>Boltzmann classical charge and heat transport, localisation, interference effects, Coulomb blockade in nanostructures, spin transport;</i> - <i>Dielectric function of solids and nanostructures, elementary excitations such as plasmons, polarons, polaritons, excitons, magnons;</i> - <i>Metal-insulator transitions (Mott insulator, Hubbard model);</i> - <i>Correlated electron systems using the example of high-temperature superconductors and manganates;</i> - <i>Giant magnetoresistance and spin currents (interlayer exchange coupling, spin valves and exchange bias, Rashba effect).</i>

	<i>Furthermore, they will be familiarised with current formalisms for the theoretical description of modern solids, as far as they are necessary for the experimental understanding (Fermi-Golden rule, susceptibilities, response theory, propagators) and they will be introduced to current issues in solid state and nanostructure physics and their experimental methods. Key experiments and applications of new materials such as graphene or topological insulators are taught on the basis of selected current specialist publications, which the students deal with in the course.</i>				
Lehrveranstaltungen und Lehrformen	<ul style="list-style-type: none"> • Advanced Solid State Lecture (V) • Exercises in Advanced Solid State Lecture (Ü) 				4 SWS 2 SWS
Arbeitsaufwand (Teilleistungen insgesamt) und		LP	P (Std)	S (Std)	PV (Std)
	<ul style="list-style-type: none"> • Vorlesung • Übung 	6	56	62	62
	Gesamtaufwand	2	28	32	-
		8	84	94	62
Studien-/Prüfungsleistungen	Prüfungsart: Klausur oder mündliche Prüfung <i>written or oral examination</i> Sprache der Prüfung: Englisch Abweichungen werden zu Beginn der Veranstaltung bekannt gegeben.				
Dauer	1 Semester				
Häufigkeit des Angebots	jährlich				
Literatur	Wird in der Veranstaltung bekannt gegeben.				

Modultitel	Nanostructure Physics I
Modulnummer/-kürzel	PHY-MV-FN-E02
Semester	Wintersemester
Verwendbarkeit, Modultyp und Zuordnung zum Curriculum	<ul style="list-style-type: none"> • Nanowissenschaften (M.Sc.): Wahlpflichtmodul • Physik (M.Sc.): Wahlpflichtmodul • Physics (M.Sc.): Wahlpflichtmodul
Voraussetzungen für die Teilnahme	Verbindlich: keine Empfohlen: Nanostrukturphysik A oder Physik IV (= Festkörperphysik)
Modulverantwortliche/r	Prof. Dr. Dorota Koziej
Lehrende	Prof. Dr. Dorota Koziej
Sprache	Englisch
Qualifikationsziele	Die Studierenden können die wesentlichen Forschungsergebnisse zur Synthese von und Forschung an Halbleiter-Nanostrukturen und Bauelementen zusammenfassen. <i>Students will be able to summarise the main research results on the synthesis of and research on semiconductor nanostructures and devices.</i>
Inhalt	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Halbleiter: Grundlagen und Ladungsträgertransport ▪ Grenzflächen in Halbleitern, klassische Halbleiterbauelemente

	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Molekularstrahlepitaxie, Selbstorganisation, HL-Quantenpunkte ▪ Transport in niedrigdimensionalen Elektronensystemen ▪ Nanoplasmonics ▪ Metamaterialien ▪ Halbleiter Nanopartikel und Quantisierungseffekte ▪ Halbleiter Nanostäbe und Bauelemente ▪ Thermoelektrische Nanostrukturen ▪ Graphen, Kohlenstoff-Nanoröhren und Organische Halbleiter ▪ <i>Semiconductors: Fundamentals and charge carrier transport</i> ▪ <i>Interfaces in semiconductors, classical semiconductor devices</i> ▪ <i>Molecular beam epitaxy, self-organisation, HL quantum dots</i> ▪ <i>Transport in low-dimensional electron systems</i> ▪ <i>Nanoplasmonics</i> ▪ <i>Metamaterials</i> ▪ <i>Semiconductor nanoparticles and quantisation effects</i> ▪ <i>Semiconductor Nanorods and Devices</i> ▪ <i>Thermoelectric nanostructures</i> ▪ <i>Graphene, Carbon Nanotubes and Organic Semiconductors</i> 				
Lehrveranstaltungen und Lehrformen	<ul style="list-style-type: none"> • Nanostructure Physics I (V) • Exercises in Nanostructure Physics I (Ü) 	4 SWS 2 SWS			
Arbeitsaufwand (Teilleistungen insgesamt) und		LP	P (Std)	S (Std)	PV (Std)
	<ul style="list-style-type: none"> • Vorlesung • Übung 	6	56	62	62
	Gesamtaufwand	2	28	32	-
		8	84	94	62
Studien-/Prüfungsleistungen	Prüfungsart: Klausur oder mündliche Prüfung <i>written or oral examination</i> Sprache der Prüfung: Englisch Abweichungen werden zu Beginn der Veranstaltung bekannt gegeben.				
Dauer	1 Semester				
Häufigkeit des Angebots	jährlich				
Literatur	Wird in der Veranstaltung bekannt gegeben.				

Modultitel	Nanostrukturphysik II: Oberflächenphysik und Magnetismus
Modulnummer/-kürzel	PHY-MV-FN-E04
Semester	Sommersemester
Verwendbarkeit, Modultyp und Zuordnung zum Curriculum	<ul style="list-style-type: none"> • Nanowissenschaften (M.Sc.): Wahlpflichtmodul • Physik (M.Sc.): Wahlpflichtmodul • Physics (M.Sc.): Wahlpflichtmodul
Voraussetzungen für die Teilnahme	Verbindlich: keine Empfohlen: Festkörperphysik und Quantenmechanik (Physik III)

Modulverantwortliche/r	Prof. Dr. Roland Wiesendanger
Lehrende	PD Dr. Kirsten von Bergmann, PD Dr. Jens Wiebe
Sprache	Englisch (Deutsch, falls alle Teilnehmer dies wünschen)
Qualifikationsziele	<p>Nach erfolgreichem Abschluss dieses Moduls haben die Studierenden einen guten Überblick über die Grundlagen und die aktuelle Forschung auf den Gebieten der Oberflächenwissenschaften, der elektronischen Struktur und des Magnetismus in reduzierten Dimensionen sowie der Spintronik. Ein Schwerpunkt dieser Vorlesung liegt auf magnetischen Atomen, Nanostrukturen und Filmen auf Einkristalloberflächen. Die Studierenden sind in der Lage, experimentelle Probenpräparationsverfahren sowie experimentelle Techniken der Tieftemperaturphysik und verschiedene oberflächenwissenschaftliche Charakterisierungswerkzeuge, wie z.B. spin-sensitive Rastersondenmethoden, zu verstehen. Sie können verschiedene magnetische Wechselwirkungen identifizieren, die für das Entstehen magnetischer Ordnung verantwortlich sind, und sie werden einen Überblick über die verschiedenen theoretischen Werkzeuge haben, die für das Verständnis und die Vorhersage komplexer magnetischer Zustände einschließlich ihrer Dynamik benötigt werden. Schließlich sind sie in der Lage, die Themen mit aktuellen Forschungsaktivitäten zu verbinden, wie z. B. topologische Materialien, magnetische Skyrmionen und Magnet-Supraleiter-Hybridssysteme.</p> <p>Die Studierenden sind berechtigt, das Nanostrukturphysik II - Vertiefungspraktikum entweder während des Moduls oder zu einem späteren Zeitpunkt durchzuführen.</p> <p><i>After successfully completing this module the students will have a good overview of both fundamentals and current research in the fields of surface science, electronic structure and magnetism in reduced dimensions, and spintronics. A focus of this lecture will be put on magnetic atoms, nanostructures, and films on single crystal surfaces. The students will be able to understand experimental sample preparation procedures as well as experimental techniques of low-temperature physics and different surface science characterization tools, such as for instance spin-sensitive scanning probe methods. They will be able to identify different magnetic interactions responsible for the emergence of magnetic order and will have an overview of the different theoretical tools needed for the understanding and prediction of complex magnetic states including their dynamics. Finally, they will be able to connect the topics to current research activities like, e.g., topological materials, magnetic skyrmions, and magnet-superconductor hybrid systems.</i></p> <p><i>Students will be eligible to perform the Nanostrukturphysik II - Vertiefungspraktikum either during the module or anytime afterwards.</i></p>
Inhalt	<ul style="list-style-type: none"> - Ultra-high-vacuum and low temperature technology - Surface structures, including superstructures - Surface characterization tools using electrons or photons - Scanning probe methods including spin- and time-resolved variants - Magnetoresistance effects

	<ul style="list-style-type: none"> - Complex magnetic order including spin spirals and skyrmions - Surface electronic structure including surface states and Rashba effects - Dimensionality effects on band magnetism - Generalized Heisenberg models in quantum mechanical and semiclassical descriptions including crystal field anisotropy and exchange interactions - Role of spin-orbit coupling in surface magnetism - Magnetization dynamics: precession, spin waves, Landau-Lifschitz-Gilbert equation - Recent hot topics: topological insulators, magnetic skyrmions, topological superconductors, Majorana bound states 				
Lehrveranstaltungen und Lehrformen	<ul style="list-style-type: none"> • Nanostrukturphysik II (V) • Übungen zur Nanostrukturphysik II (Ü) 			4 SWS	2 SWS
Arbeitsaufwand (Teilleistungen insgesamt) und		LP	P (Std)	S (Std)	PV (Std)
	<ul style="list-style-type: none"> • Vorlesung • Übung 	6	56	62	62
	Gesamtaufwand	8	84	94	62
Studien-/Prüfungsleistungen	Prüfungsart: Klausur oder mündliche Prüfung <i>written or oral examination</i> Sprache der Prüfung: Deutsch oder Englisch Abweichungen werden zu Beginn der Veranstaltung bekannt gegeben.				
Dauer	1 Semester				
Häufigkeit des Angebots	jährlich				
Literatur	Festkörperphysik, R. Gross und A. Marx (De Gruyter 2014) Festkörperphysik, S. Hunklinger (De Gruyter Oldenbourg) Tieftemperaturphysik, C. Enss und S. Hunklinger (Springer 2000) Magnetism in Condensed Matter, S. Blundell (Oxford University Press) Simple Models of Magnetism, R. Skomski (Oxford Graduate Texts) Magnetism, J. Stöhr und H.C. Siegmann (Springer) Physics of Ferromagnetism, S. Chikazumi (Oxford Science Publications) Surface Physics: An Introduction, P. Hofmann (e book only 2016) Oberflächenphysik des Festkörpers, M. Henzler / W. Göpel (Teubner 1994) Physics of Surfaces and Interfaces, H. Ibach (Springer 2006) Scanning Probe Microscopy and Spectroscopy, R. Wiesendanger (Cambridge University Press)				

Modultitel	Nanostrukturphysik IV - Energiematerialien und Nanobiotechnologie
Modulnummer/-kürzel:	PHY-MV-FN-E11
Semester	Sommersemester

Verwendbarkeit, Modultyp und Zuordnung zum Curriculum	<ul style="list-style-type: none"> • Nanowissenschaften (M.Sc.): Wahlpflichtmodul • Physik (M.Sc.): Wahlpflichtmodul • Physics (M.Sc.): Wahlpflichtmodul 				
Voraussetzungen für die Teilnahme	Verbindlich: keine Empfohlen: keine				
Modulverantwortliche/r:	Prof. Dr. Robert H. Blick; Prof. Dr. Arwen Ruth Pearson				
Lehrende	Prof. Dr. Robert H. Blick; Prof. Dr. Arwen Ruth Pearson				
Sprache	Deutsch oder Englisch				
Qualifikationsziele	<p>Nach erfolgreichem Absolvieren des Moduls können Studierende die wesentlichen Forschungsergebnisse zur Energiespeicherung und Energieerzeugung mittels Nanomaterialien oder der Anwendung von Nanostrukturen und Nanomaterialien in den Bereich Medizin und Biotechnologie zusammenfassen.</p> <p><i>After successfully completing the module, students will be able to summarise the main research results on energy storage and energy generation using nanomaterials or the application of nanostructures and nanomaterials in the fields of medicine and biotechnology.</i></p>				
Inhalt	<p>Aktuelle Forschungsergebnisse sollen in regelmäßigen Turnus abwechseln aus dem zwei Themenfeldern Energiematerialien oder Nanobiotechnologie vorgestellt werden und hierbei besonders die interdisziplinären Aspekte innerhalb der Nanowissenschaften mit den Themenfeldern Physik, Chemie, Biologie, Ingenieurwissenschaften und Medizin hervorgehoben werden.</p> <p><i>Current research results are to be presented in regular rotation, alternating between the two thematic fields of energy materials or nanobiotechnology, with particular emphasis on the interdisciplinary aspects within the nanosciences with the thematic fields of physics, chemistry, biology, engineering sciences and medicine.</i></p>				
Lehrveranstaltungen und Lehrformen	<ul style="list-style-type: none"> • Nanostrukturphysik IV (V) • Übungen zur Nanostrukturphysik IV (Ü) 			2 SWS	1 SWS
Arbeitsaufwand (Teilleistungen und insgesamt)	<ul style="list-style-type: none"> • Vorlesung • Übung 	LP	P (Std)	S (Std)	PV (Std)
	Gesamtaufwand	3 1	28 14	32 16	30 -
		4	42	48	30
Studien-/Prüfungsleistungen	Prüfungsart: Klausur oder mündliche Prüfung <i>written or oral examination</i> Sprache der Prüfung: Deutsch oder Englisch Abweichungen werden zu Beginn der Veranstaltung bekannt gegeben.				
Dauer	1 Semester				
Häufigkeit des Angebots	jährlich				
Literatur:	Wird in der Veranstaltung bekannt gegeben.				

Modultitel	Advanced Methods for Surface and Nanostructure Characterization
Modulnummer/-kürzel	PHY-MV-FN-E12
Semester	Sommersemester
Verwendbarkeit, Modultyp und Zuordnung zum Curriculum	<ul style="list-style-type: none"> • Nanowissenschaften (M.Sc.): Wahlpflichtmodul • Physik (M.Sc.): Wahlpflichtmodul • Physics (M.Sc.): Wahlpflichtmodul
Voraussetzungen für die Teilnahme	Verbindlich: keine Empfohlen: Festkörperphysik; Nanostrukturphysik
Modulverantwortliche/r	Prof. Dr. Andreas Stierle
Lehrende	Prof. Dr. Andreas Stierle
Sprache	Englisch
Qualifikationsziele	<p>Die Studierende haben das Verständnis zu verschiedenen Methoden zur strukturellen und chemischen Charakterisierung von Nanostrukturen und Oberflächen sowie von der Entwicklung von Entscheidungskompetenz für die Methodenwahl zur chemischen und strukturellen Charakterisierung von Nanostrukturen und Oberflächen.</p> <p>Nach erfolgreichem Absolvieren des Moduls wissen die Studierende wie mit Röntgen und Elektronenbeugungsmethoden die atomare Struktur von Oberflächen und Nanostrukturen charakterisiert werden können.</p> <p>Sie kennen unterschiedliche Verfahren, um die Morphologie, atomare Struktur oder Nahordnung zu beschreiben.</p> <p>Weiterhin kennen die Studierenden elektronenspektroskopische Methoden, die zur Charakterisierung der chemischen und elektronischen Eigenschaften eingesetzt werden. Abschließend haben sie einen Überblick von ortsauflösenden Rastersondentechniken.</p> <p><i>The students have the understanding of different methods for the structural and chemical characterisation of nanostructures and surfaces as well as the development of decision-making competence for the choice of methods for the chemical and structural characterisation of nanostructures and surfaces.</i></p> <p><i>After successful completion of the module, students know how to characterise the atomic structure of surfaces and nanostructures using X-ray and electron diffraction methods.</i></p> <p><i>They know different methods to describe the morphology, atomic structure or near order.</i></p> <p><i>Furthermore, the students know electron spectroscopic methods that are used to characterise the chemical and electronic properties. Finally, they have an overview of spatially resolving scanning probe techniques.</i></p>
Inhalt	<p>I. Röntgenbeugung an Systemen mit reduzierten Dimensionen</p> <ul style="list-style-type: none"> • Röntgen-Reflexion • Röntgenbeugung unter streifendem Einfall, Kleinwinkelstreuung • Oberflächenröntgenbeugung • Beugung an dünnen Filmen, Vielfachschichten und Nanopartikeln <p>II. Elektronenbeugung an niederdimensionalen Systemen</p> <ul style="list-style-type: none"> • Beugung niederenergetischer Elektronen

	<ul style="list-style-type: none"> • Beugung hochenergetischer Elektronen • Elektronen als lokale Sonde: EXAFS <p>III. Oberflächensensitive Spektroskopie</p> <ul style="list-style-type: none"> • Photoemissionsspektroskopie • Auger Elektronenspektroskopie <p>IV. Rastersondentechniken</p> <ul style="list-style-type: none"> • Rastertunnelmikroskopie • Rasterkraftmikroskopie • Rasterelektronenmikroskopie <p><i>I. X-ray diffraction on systems with reduced dimensions</i></p> <ul style="list-style-type: none"> - X-ray reflection - X-ray diffraction under grazing incidence, small angle scattering - Surface X-ray diffraction - Diffraction from thin films, multilayers and nanoparticles <p><i>II. electron diffraction in low-dimensional systems</i></p> <ul style="list-style-type: none"> - Diffraction of low-energy electrons - Diffraction of high energy electrons - Electrons as a local probe: EXAFS <p><i>III. surface sensitive spectroscopy</i></p> <ul style="list-style-type: none"> - Photoemission spectroscopy - Auger electron spectroscopy <p><i>IV. Scanning probe techniques</i></p> <ul style="list-style-type: none"> - Scanning tunneling microscopy - Atomic force microscopy - Scanning electron microscopy 				
Lehrveranstaltungen und Lehrformen	<ul style="list-style-type: none"> • Advanced Methods for Surface and Nanostructure Characterization (V) • Exercises in Advanced Methods for Surface and Nanostructure Characterization (Ü) 				2 SWS 2 SWS
Arbeitsaufwand (Teilleistungen und insgesamt)		LP	P (Std)	S (Std)	PV (Std)
	<ul style="list-style-type: none"> • Vorlesung • Übung 	3 2	28 28	32 32	30 -
	Gesamtaufwand	5	56	64	30
Studien-/Prüfungsleistungen	Prüfungsart: Klausur oder mündliche Prüfung <i>written or oral examination</i> Sprache der Prüfung: Englisch Abweichungen werden zu Beginn der Veranstaltung bekannt gegeben.				
Dauer	1 Semester				
Häufigkeit des Angebots	jährlich				
Literatur	1. J. Als-Nielsen, D. Mc Morrow, Elements of modern x-ray physics, Wiley 2. H. Dosch, critical phenomena at surfaces and interfaces, Springer 3. G. Ertl, J. Küppers, Low energy electron diffraction and surface chemistry, Springer				

	<p>4. K. Wandelt, surface and interface science, Wiley</p> <p>5. R. Waser, nanoelectronics and information technology, Wiley</p> <p>6. E. Mittemeijer, U, Welzel, modern diffraction methods, Wiley</p>
--	---

Modultitel	Seminar über Nahfeldgrenzflächenphysik und Nanotechnologie				
Modulnummer/-kürzel	PHY-MV-FN-E16				
Semester	Sommer- und Wintersemester				
Verwendbarkeit, Modultyp und Zuordnung zum Curriculum	<ul style="list-style-type: none"> • Nanowissenschaften (M.Sc.): Wahlpflichtmodul • Physik (M.Sc.): Wahlpflichtmodul • Physics (M.Sc.): Wahlpflichtmodul 				
Voraussetzungen für die Teilnahme	Verbindlich: keine Empfohlen: Physik IV (= Festkörperphysik) oder Nanostrukturphysik A und B				
Modulverantwortliche/r	Prof. Dr. Roland Wiesendanger				
Lehrende	Prof. Dr. Roland Wiesendanger				
Sprache	Deutsch oder Englisch				
Qualifikationsziele	<p>Studierende haben vertiefte Kenntnisse über und Einblicke in aktuelle Entwicklungen der Forschung in der Festkörper- und Nanostrukturphysik. Die Studierende kennen moderne Festkörper- und Nanostrukturphysik, durch Behandlung aktueller Fragen mittels experimenteller Methoden. Sie haben vertieftes Fachwissen, um eine Master-Arbeit im Gebiet der experimentellen Festkörper- und Nanostrukturphysik erfolgreich durchführen zu können.</p> <p><i>Students have in-depth knowledge of and insight into current developments in research in solid state and nanostructure physics.</i></p> <p><i>Students know modern solid state and nanostructure physics, by addressing current questions using experimental methods. They have in-depth knowledge to be able to successfully carry out a Master's thesis in the field of experimental solid state and nanostructure physics.</i></p>				
Inhalt	Vertiefung aktueller Themen der Festkörper- und Nanostrukturphysik Experimentelle Methoden der Festkörper- und Nanostrukturphysik <i>Deepening of current topics in solid state and nanostructure physics</i> <i>Experimental methods of solid state and nanostructure physics</i>				
Lehrveranstaltungen und Lehrformen	<ul style="list-style-type: none"> • Seminar über Nahfeldgrenzflächenphysik und Nanotechnologie (S) 				2 SWS
Arbeitsaufwand (Teilleistungen und insgesamt)		LP	P (Std)	S (Std)	PV (Std)
	<ul style="list-style-type: none"> • Seminar 	3	28	32	30
	Gesamtaufwand	3	28	32	30

Studien- /Prüfungsleistungen	Prüfungsart: Referat Sprache der Prüfung: Deutsch oder Englisch Abweichungen werden zu Beginn der Veranstaltung bekannt gegeben.
Dauer	1 Semester
Häufigkeit des Angebots	jedes Semester
Literatur	Wird in der Veranstaltung bekannt gegeben.

Modultitel	Bio- and Nanointerfaces
Modulnummer/-kürzel	PHY-MV-FN-E18
Semester	Wintersemester
Verwendbarkeit, Modultyp und Zuordnung zum Curriculum	<ul style="list-style-type: none"> • Nanowissenschaften (M.Sc.): Wahlpflichtmodul • Physik (M.Sc.): Wahlpflichtmodul • Physics (M.Sc.): Wahlpflichtmodul
Voraussetzungen für die Teilnahme	Verbindlich: keine Empfohlen: Grundlagen der physikalischen Chemie
Modulverantwortliche/r	Prof. Dr. Robert H. Blick
Lehrende	Prof. Dr. Robert H. Blick; PD Dr. Thomas F. Keller
Sprache	Deutsch oder Englisch
Qualifikationsziele	<p>Die Studierenden haben grundlegende Kenntnisse über wichtige biophysikalische Prozesse an Grenzflächen und besitzen ein grundlegendes und fachübergreifendes Verständnis für weiterführende Vorlesungen und Abschlussarbeiten in diesem interdisziplinären Gebiet.</p> <p>Nach erfolgreichem Absolvieren des Moduls wissen die Studierenden, wie Zellen elektrische Signale weiterleiten, Ionenkanäle und Nanoporen funktionieren und welchen Einfluss eine Grenzfläche auf die Konformation eines Proteins hat. Sie kennen Anwendungen im Bereich der Mikrofluidik, Sensorik und Biomedizin sowie Methoden zur Untersuchung biophysikalischer Prozesse, mit deren Hilfe aktuelle wissenschaftliche Fragen beantwortet werden.</p> <p><i>The students have basic knowledge of important bio-physical processes at interfaces and have a fundamental and interdisciplinary understanding for further lectures and theses in this interdisciplinary field.</i></p> <p><i>After successfully completing the module, the students know how cells transmit electrical signals, how ion channels and nanopores function and what influence an interface has on the conformation of a protein. They know applications in the field of microfluidics, sensor technology and biomedicine as well as methods for the investigation of bio-physical processes, with the help of which current scientific questions can be answered.</i></p>
Inhalt	I Einführung II Grundlagen

	<ul style="list-style-type: none"> • Kraft und Energie • Thermodynamische Potentiale • Diffusion • Debye-Hückel Abschirmung, Zeta-Potential <p>III Bio- und Nanogrenzflächen</p> <ul style="list-style-type: none"> • Physikalische Beschreibung organischer und anorganischer Grenzflächen • Biophysikalische Grenzflächen • Oberflächenspannung und Osmose • Zellmembranen • Elektrische Eigenschaften von Zellmembranen und Ionentransfer • Aufbau und Raumstruktur von Proteinen • Protein-Protein- / Protein-Oberflächen-Wechselwirkungen • AFM-Kraftspektroskopie: Kraftinduzierte Sekundärstrukturänderungen • Enzymkatalyse durch Tunneleffekt <p>VI Anwendungen</p> <ul style="list-style-type: none"> • Mikrofluidik • Implantatoberflächen in der Forschung • Bioelektronische Devices • Biosensoren und in-vitro/in-vivo Diagnostik <p><i>I Introduction</i></p> <p><i>II Basics</i></p> <ul style="list-style-type: none"> - <i>Force and energy</i> - <i>Thermodynamic potentials</i> - <i>Diffusion</i> - <i>Debye-Hückel shielding, zeta potential</i> <p><i>III Bio- and nano-interfaces</i></p> <ul style="list-style-type: none"> - <i>Physical description of organic and inorganic interfaces</i> - <i>Biophysical interfaces</i> - <i>Surface tension and osmosis</i> - <i>Cell membranes</i> - <i>Electrical properties of cell membranes and ion transfer</i> - <i>Structure and spatial structure of proteins</i> - <i>Protein-protein / protein-surface interactions</i> - <i>AFM force spectroscopy: force-induced secondary structure changes</i> - <i>Enzyme catalysis by tunnel effect</i> <p><i>VI Applications</i></p> <ul style="list-style-type: none"> - <i>Microfluidics</i> - <i>Implant surfaces in research</i> - <i>Bioelectronic devices</i> - <i>Biosensors and in-vitro/in-vivo diagnostics</i> 	
Lehrveranstaltungen und Lehrformen	<ul style="list-style-type: none"> • Bio-Nano-Interfaces (V) 	2 SWS

Arbeitsaufwand (Teilleistungen und insgesamt)	<ul style="list-style-type: none"> • Vorlesung 	LP 3	P (Std) 28	S (Std) 32	PV (Std) 30
	Gesamtaufwand	3	28	32	30
Studien- /Prüfungsleistungen	Prüfungsart: Klausur oder mündliche Prüfung <i>written or oral examination</i> Sprache der Prüfung: Englisch Abweichungen werden zu Beginn der Veranstaltung bekannt gegeben.				
Dauer	1 Semester				
Häufigkeit des Angebots	jährlich				
Literatur	„Biophysics: A Physiological Approach“, Patrick F. Dillon, Cambridge University Press, 2012. „Bioelectronics Handbook: MOSFETs, Biosensors, and Neurons“, Massobrio, Giuseppe, McGraw-Hill Companies, 1998. MIT Open course ware http://ocw.mit.edu/courses/materials-science-and-engineering/(3-051j) „Intermolecular and Surface Forces“, 2 nd ed., J.N. Israelachvili, Academic Press, London, 1992. „Biomaterials: Protein–Surface Interactions“, R.A. Latour, in Encyclopedia of Biomaterials and Biomedical Engineering, 2005.				

Modultitel	X-Ray Analytics and Microscopy in Nanoscience
Modulnummer/-kürzel	PHY-MV-FN-E23
Semester	Sommersemester
Verwendbarkeit, Modultyp und Zuordnung zum Curriculum	<ul style="list-style-type: none"> • Nanowissenschaften (M.Sc.): Wahlpflichtmodul • Physik (M.Sc.): Wahlpflichtmodul • Physics (M.Sc.): Wahlpflichtmodul
Voraussetzungen für die Teilnahme	Verbindlich: keine Empfohlen: keine
Modulverantwortliche®	Prof. Dr. Christian Schroer
Lehrende	Prof. Dr. Christian Schroer
Sprache	Englisch
Qualifikationsziele	Die Studierenden können die wesentlichen aktuellen röntgenanalytischen und röntgenmikroskopischen Methoden für die Untersuchung von funktionalen Nanomaterialien zusammenfassen. <i>Students will be able to summarise the essential current X-ray analytical and X-ray microscopic methods for the investigation of functional nanomaterials.</i>
Inhalt	Es werden folgende Themen behandelt: <ul style="list-style-type: none"> • Wechselwirkung von Röntgenstrahlung mit Materie

	<ul style="list-style-type: none"> Wellenoptik von Röntgenstrahlung und Röntgenoptiken Tomographie Rastermikroskopie und Analytik Röntgenfluoreszenz, Absorption, Beugung Abbildende Röntgenmikroskopie Abbildung mit kohärenter Röntgenstrahlung <p><i>The following topics will be covered:</i></p> <ul style="list-style-type: none"> <i>- Interaction of X-rays with matter</i> <i>- Wave optics of X-rays and X-ray optics</i> <i>- tomography</i> <i>- Scanning microscopy and analysis</i> <p><i>X-ray fluorescence, absorption, diffraction</i></p> <ul style="list-style-type: none"> <i>- Imaging X-ray microscopy</i> <i>- Imaging with coherent X-rays</i> 				
Lehrveranstaltungen und Lehrformen	<ul style="list-style-type: none"> X-Ray Analytics and Microscopy in Nanoscience (V) 	2 SWS			
Arbeitsaufwand (Teilleistungen insgesamt) und	<ul style="list-style-type: none"> Vorlesung 	LP 3	P (Std) 28	S (Std) 32	PV (Std) 30
	Gesamtaufwand	3	28	32	30
Studien-/Prüfungsleistungen	Prüfungsart: Hausarbeit Sprache der Prüfung: Englisch Abweichungen werden zu Beginn der Veranstaltung bekannt gegeben.				
Dauer	1 Semester				
Häufigkeit des Angebots	jährlich				
Literatur	Wird in der Lehrveranstaltung bekannt gegeben.				

Modultitel	Die Kunst der Computer-basierten Modellierung und Simulation experimenteller Daten				
Modulnummer/-kürzel	PHY-MV-FN-E31				
Semester	Wintersemester				
Verwendbarkeit, Modultyp und Zuordnung zum Curriculum	<ul style="list-style-type: none"> Nanowissenschaften (M.Sc.): Wahlpflichtmodul Physik (M.Sc.): Wahlpflichtmodul Physics (M.Sc.): Wahlpflichtmodul 				
Voraussetzungen für die Teilnahme	Verbindlich: keine Empfohlen: keine				
Modulverantwortliche/r	Prof. Dr. Michael Rübhausen				

Lehrende	Prof. Dr. Michael Rübhausen; Dr. Benjamin Grimm-Lebsanft				
Sprache	Deutsch oder Englisch				
Qualifikationsziele	<p>Die Studierende besitzen das Verständnis zu mathematischen Beschreibungen experimenteller Daten unter expliziter Berücksichtigung der numerischen und experimentellen Fehler.</p> <p>Sie kennen die Grundlagen der Statistik, Numerik und der Programmierung sowie die Modellierung eines experimentellen Datensatzes.</p> <p><i>The students have an understanding of mathematical descriptions of experimental data with explicit consideration of numerical and experimental errors.</i></p> <p><i>They know the basics of statistics, numerics and programming as well as the modelling of an experimental data set.</i></p>				
Inhalt	<ul style="list-style-type: none"> • Statistik – Revision der Grundlagen • Numerik: Integrieren, Differenzieren, FFT, Lösen eines linearen Gleichungssystems • DGL's: Runge Kutta • Fit-Algorithmen unter Berücksichtigung experimenteller Fehler: Lineare Funktion; Gauß-Newton Verfahren; Levenberg Marquardt; Monte-Carlo • Stabilität eines Fits unter Berücksichtigung der experimentellen Fehler • Globales versus lokales Fit-Minimum <p><i>- Statistics - Revision of the basics</i></p> <p><i>- Numerics: Integrating, differentiating, FFT, solving a linear system of equations</i></p> <p><i>- DGL's: Runge Kutta</i></p> <p><i>- Fit algorithms considering experimental errors: Linear function; Gauss-Newton method; Levenberg Mar-quardt; Monte-Carlo</i></p> <p><i>- Stability of a fit under consideration of experimental errors</i></p> <p><i>- Global versus local fit minimum</i></p>				
Lehrveranstaltungen und Lehrformen	<ul style="list-style-type: none"> • Die Kunst der Computer-basierten Modellierung und Simulation experimenteller Daten (V) • Übungen zur Kunst der Computer-basierten Modellierung und Simulation experimenteller Daten (Ü) • Computerübungen zur Kunst der Computer-basierten Modellierung und Simulation experimenteller Daten (CÜ) • Projekt zur Kunst der Computer-basierten Modellierung und Simulation experimenteller Daten (Pj) 			2 SWS	
				2 SWS	
				2 SWS	
				1 SWS	
Arbeitsaufwand (Teilleistungen und insgesamt)		LP	P (Std)	S (Std)	PV (Std)
	<ul style="list-style-type: none"> • Vorlesung • Übung • Computerübung • Projekt 	3	28	32	30
		2	28	16	16
		2	28	16	16
		2	14	23	23
	Gesamtaufwand	9	98	87	85

Studien- /Prüfungsleistungen	Prüfungsart: Projektabschlussbericht <i>project completion</i> Sprache der Prüfung: Deutsch oder Englisch Abweichungen werden zu Beginn der Veranstaltung bekannt gegeben.
Dauer	1 Semester
Häufigkeit des Angebots	jährlich
Literatur	Numerical Recipes – The Art of Scientific Computing (3rd Edition)

Modultitel	Quantentransport und experimentelle Quantenphysik
Modulnummer/-kürzel	PHY-MV-FN-E32
Semester	Wintersemester
Verwendbarkeit, Modultyp und Zuordnung zum Curriculum	<ul style="list-style-type: none"> • Nanowissenschaften (M.Sc.): Wahlpflichtmodul • Physik (M.Sc.): Wahlpflichtmodul • Physics (M.Sc.): Wahlpflichtmodul
Voraussetzungen für die Teilnahme	Verbindlich: keine Empfohlen: Grundlagen der Elektrodynamik und Quantenmechanik
Modulverantwortliche/r	Prof. Dr. Robert H. Blick
Lehrende	Prof. Dr. Robert H. Blick; Dr. Lars Tiemann
Sprache	Deutsch oder Englisch
Qualifikationsziele	<p>Die Studierende haben ein vertieftes Wissen zu den wichtigen Prinzipien der Halbleiter- und Festkörperphysik und grundlegendes zu neuen, exotischen Materiezuständen.</p> <p>Sie besitzen das Verständnis zu wichtigen Quanteneffekte in Festkörpern und deren experimentellen Untersuchungsmethoden.</p> <p>Die Studierenden wissen, wie moderne Halbleiterstrukturen aufgebaut sind und wie sie zu Nanostrukturen prozessiert werden können. Sie verstehen, unter welchen Bedingungen Quanteneffekte in Halbleitern auftreten, wie sie physikalisch zu interpretieren sind und wie sie experimentell untersucht werden. Die Studierenden kennen die Anwendungen der modernen Messtechniken von Halbleitern bei Temperaturen ≤ 4.2 Kelvin und besitzen die nötigen Grundlagen, um auf dem Gebiet des Quantentransports experimentell arbeiten zu können.</p> <p><i>The students have an in-depth knowledge of the important principles of semiconductor and solid-state physics and fundamental knowledge of new, exotic states of matter.</i></p> <p><i>They have an understanding of important quantum effects in solids and their experimental investigation methods.</i></p> <p><i>The students know how modern semiconductor structures are constructed and how they can be processed into nanostructures. They understand under which conditions quantum effects occur in semiconductors, how they are to be interpreted physically and how they are investigated experimentally. The students know the applications of modern measurement techniques of semiconductors at temperatures ≤ 4.2</i></p>

	<p><i>Kelvin and have the necessary basics to be able to work experimentally in the field of quantum transport.</i></p>
<p>Inhalt</p>	<p>I Einführung</p> <p>II Grundlagen der Festkörper- und Halbleiterphysik (ca. 15% der VL)</p> <ul style="list-style-type: none"> • Bandstrukturen • Eigenschaften der Ladungsträger <p>III Grundlagen der Halbleitertechnologie (ca. 15%)</p> <ul style="list-style-type: none"> • Wachstum von Halbleitern • Prozessierung, Strukturierung und Reinraumtechnologien • Charakterisierungsmethoden <p>IV Quanteneffekte und Quantentransport (ca. 60%)</p> <ul style="list-style-type: none"> • Transport von Ladungsträgern • Wechselwirkungen und Defekte • Quantisierung durch Einschlusspotentiale und Magnetfelder • Quanten-Hall-Effekte und Graphen • Topologische Systeme • Quanteneffekte in Nanostrukturen <p>V Messmethoden und Technologien (ca. 10%)</p> <ul style="list-style-type: none"> • Grundlagen der Tieftemperaturphysik (4.2 Kelvin bis Millikelvin-Bereich) • Grundlagen der Messdatenaufnahme für Transport bei tiefen Temperaturen (Messmethoden und Datenaufnahme/Programmierung) <p><i>I Introduction</i></p> <p><i>II Fundamentals of solid state and semiconductor physics (approx. 15% of the VL)</i></p> <ul style="list-style-type: none"> - <i>band structures</i> - <i>Properties of charge carriers</i> <p><i>III Fundamentals of semiconductor technology (approx. 15%)</i></p> <ul style="list-style-type: none"> - <i>Growth of semiconductors</i> - <i>Processing, structuring and clean room technologies</i> - <i>Characterisation methods</i> <p><i>IV Quantum effects and quantum transport (approx. 60%)</i></p> <ul style="list-style-type: none"> - <i>Transport of charge carriers</i> - <i>Interactions and defects</i> - <i>Quantisation by confinement potentials and magnetic fields</i> - <i>Quantum Hall effects and graphene</i> - <i>Topological systems</i> - <i>Quantum effects in nanostructures</i> <p><i>V Measurement Methods and Technologies (approx. 10%)</i></p> <ul style="list-style-type: none"> - <i>Fundamentals of low-temperature physics (4.2 Kelvin to millikelvin range)</i> - <i>Fundamentals of measurement data acquisition for transport at low temperatures</i> (<i>Measurement methods and data acquisition/programming</i>)

Lehrveranstaltungen und Lehrformen	<ul style="list-style-type: none"> • Quantentransport und experimentelle Quantenphysik (V) • Seminar zu Quantentransport und experimentelle Quantenphysik (S) 	2 SWS				1 SWS
Arbeitsaufwand (Teilleistungen und insgesamt)		LP	P (Std)	S (Std)	PV (Std)	
	<ul style="list-style-type: none"> • Vorlesung • Seminar 	3	28	32	30	
	Gesamtaufwand	4	42	40	38	
Studien-/Prüfungsleistungen	Prüfungsart: Referat und mündliche Prüfung <i>presentation or oral examination</i> Sprache der Prüfung: Deutsch oder Englisch Abweichungen werden zu Beginn der Veranstaltung bekannt gegeben.					
Dauer	1 Semester					
Häufigkeit des Angebots	jährlich					
Literatur	„Semiconductor Nanostructures: Quantum states and electronic transport“, Thomas Ihn, Oxford Univ. Press, 2011 "The physics of low-dimensional semiconductors: an introduction", John H. Davies, Cambridge Univ. Press, 2009 „Semiconductor spintronics“, Thomas Schäpers, De Gruyter, 2016 "Introduction to the Physics of Electrons in Solids", Henri Alloul, Springer-Verlag, 2011					

Modultitel:	Modern Scattering Methods in Nanomaterial Science
Modulnummer/-kürzel:	PHY-MV-FN-E33
Semester	Wintersemester
Verwendbarkeit, Modultyp und Zuordnung zum Curriculum	<ul style="list-style-type: none"> • Nanowissenschaften (M.Sc.): Wahlpflichtmodul • Physik (M.Sc.): Wahlpflichtmodul • Physics (M.Sc.): Wahlpflichtmodul
Voraussetzungen für die Teilnahme:	Verbindlich: keine Empfohlen: Nanochemie I & II, Methoden moderner Röntgenphysik I
Modulverantwortliche/r:	Prof. Dr. Dorota Koziej
Lehrende:	Mads Ry Jørgensen, AU Dorota Koziej, UHH Ann-Christin Dippel, DESY
Sprache:	Englisch
Qualifikationsziele:	Die Studenten kennen den theoretischen Hintergrund und haben praktische Erfahrungen mit Synchrotron-Röntgenstreuungstechniken, die für die Charakterisierung von Nanopartikeln relevant sind. Im Einzelnen:

	<ul style="list-style-type: none"> • Berücksichtigung der Eigenschaften von Synchrotronstrahlung für die strukturelle Untersuchung von Nanopartikeln • Erklären Sie das Prinzip der Röntgenkleinwinkelstreuung (SAXS), der Pulverröntgenbeugung (PXR) und der totalen Streuung (TS) • Identifizieren Sie die wichtigsten technischen Komponenten in den Versuchsaufbauten und berücksichtigen Sie deren Auswirkungen auf die resultierenden Daten • Durchführen von Analysen von SAXS-, PXR- und TS-Daten von Nanopartikeln • Diskutieren Sie die Stärken und Schwächen der drei Methoden zur Charakterisierung der Eigenschaften von Nanopartikeln <p><i>The students know the theoretical background and have practical experience with synchrotron X-ray scattering techniques relevant for the characterisation of nanoparticles.</i></p> <p><i>In detail:</i></p> <ul style="list-style-type: none"> - Consider the properties of synchrotron radiation for the structural study of nanoparticles. - Explain the principle of small angle X-ray scattering (SAXS), powder X-ray diffraction (PXR) and total scattering (TS). - Identify the main technical components in the experimental set-ups and consider their effects on the resulting data - Perform analyses of SAXS, PXR and TS data from nanoparticles. - Discuss the strengths and weaknesses of the three methods for characterising the properties of nanoparticles 					
Inhalt:	<ul style="list-style-type: none"> • Synthese von Nanopartikeln und Probenvorbereitung im Labor • Die Theorie und die Prinzipien hinter PXR, SAXS & TS und die Datenanalyse werden in einer Reihe von Vorträgen und Übungen vorgestellt. • Experimente an zwei Strahlführungen am Deutschen Elektronen-Synchrotron (DESY). Die Schüler werden Experimente in kleinen Gruppen an ihren eigenen Proben durchführen. • Die während der Experimente gesammelten Daten werden während der Workshops analysiert. <p><i>- Nanoparticle synthesis and sample preparation in the lab.</i></p> <p><i>- The theory and principles behind PXR, SAXS & TS and data analysis will be presented in a series of lectures and exercises.</i></p> <p><i>- Experiments on two beamlines at the German Electron Synchrotron (DESY). Students will perform experiments in small groups on their own samples.</i></p> <p><i>- The data collected during the experiments will be analysed during the workshops.</i></p>					
Lehrveranstaltungen und Lehrformen:	<ul style="list-style-type: none"> • Modern Scattering Methods in Nanomaterial Science (V) • Sample preparation and synchrotron experiments (P) • Data analysis (Ü) 			1 SWS	2 SWS	2 SWS
Arbeitsaufwand* (Teilleistungen und insgesamt)	<ul style="list-style-type: none"> • Lectures & e-learning (V) • Experiments (P) • Data analysis (Ü) 	LP 2 2 1	P(Std) 14 28 28	S (Std) 24 16 2	PV (Std) 22 16 -	
	Total	5	70	42	38	

Studien- /Prüfungsleistungen	Prüfungsart: Referat mit schriftlicher Ausarbeitung Sprache der Prüfung: Englisch Abweichungen werden zu Beginn der Veranstaltung bekannt gegeben.
Dauer	1 Semester
Häufigkeit des Angebots	jährlich
Literatur:	Wird in der Veranstaltung bekannt gegeben.

Modultitel	Methods in Nanobiotechnology II
Modulnummer/-kürzel	PHY-MV-FN-E34
Semester	Sommersemester
Verwendbarkeit, Modultyp und Zuordnung zum Curriculum	<ul style="list-style-type: none"> • Nanowissenschaften (M.Sc.): Wahlpflichtmodul • Physik (M.Sc.): Wahlpflichtmodul • Physics (M.Sc.): Wahlpflichtmodul
Voraussetzungen für die Teilnahme	Verbindlich: keine Empfohlen: keine
Modulverantwortliche/r	Prof. Dr. Wolfgang Parak
Lehrende	Prof. Wolfgang Parak; Dr. Neus Feliu; Dr. Florian Schulz
Sprache	Englisch
Qualifikationsziele	<p>Die Studierenden haben Kenntnis von modernen Methoden und Aspekten der Nanobiotechnologie. Sie sind für wissenschaftliche Arbeiten in dieser Thematik vorbereitet und können fachliche Primärliteratur zum Thema verstehen, einordnen, und auch zusammenfassend vortragen.</p> <p><i>The students have knowledge of modern methods and aspects of nanobiotechnology. They are prepared for scientific work in this topic and can understand, classify and also summarize technical primary literature on the topic.</i></p>
Inhalt	<p>In diesem Kurs werden grundlegende Methoden der Nanobiotechnologie vorgestellt und diskutiert. Der Fokus dieses Moduls liegt in der Synthese von Materialien, besonders der von Kolloiden, und deren Charakterisierung. Experimentelle Techniken und Hintergrundinformationen über Messapparaturen werden behandelt. Als Beispiele werden die Synthese kolloidaler Nanopartikel und Mikropartikel, die Funktionalisierung von Oberflächen, Reinigungsmethoden, Bestimmung von Partikelgrößen und Partikeltrennungsprozessen, Bioconjugation, photophysikalische Grundlagen, usw. behandelt.</p> <p><i>In this course, basic methods of nanobiotechnology are presented and discussed. The focus of this module is on the synthesis of materials, especially colloids, and their characterization. Experimental techniques and background information on measurement applications will be covered. Examples covered include synthesis of colloidal nanoparticles and microparticles, functionalization of surfaces, purification</i></p>

	<i>methods, determination of particle sizes and particle separation processes, bioconjugation, photophysical principles, etc.</i>				
Lehrveranstaltungen und Lehrformen	<ul style="list-style-type: none"> • Methods in Nanobiotechnology II (V) • Exercises in Methods in Nanobiotechnology II (Ü) • Practical: Methods in Nanobiotechnology II (P) 				2 SWS 2 SWS 2 SWS
Arbeitsaufwand (Teilleistungen und insgesamt)		LP	P (Std)	S (Std)	PV (Std)
	<ul style="list-style-type: none"> • Vorlesung • Übung • Praktikum 	3	28	32	30
	Gesamtaufwand	7	84	96	30
Studien-/Prüfungsleistungen	Prüfungsart: Referat (50%) und mündliche Prüfung (50%) <i>presentation (50%) and oral examination (50%)</i> Sprache der Prüfung: Englisch Abweichungen werden zu Beginn der Veranstaltung bekannt gegeben.				
Dauer	1 Semester				
Häufigkeit des Angebots	jährlich				
Literatur	Wird in der Veranstaltung bekannt gegeben.				

Modultitel	Fundamentals of Photovoltaics
Modulnummer/-kürzel	PHY-MV-FN-E35
Semester	Sommersemester
Verwendbarkeit, Modultyp und Zuordnung zum Curriculum	<ul style="list-style-type: none"> • Nanowissenschaften (M.Sc.): Wahlpflichtmodul • Physik (M.Sc.): Wahlpflichtmodul • Physics (M.Sc.): Wahlpflichtmodul
Voraussetzungen für die Teilnahme	Verbindlich: keine Empfohlen: Physik V
Modulverantwortliche/r	Prof. Dr. Christian Schroer
Lehrende	Mitglieder des Lehrkörpers aus dem Fachbereich Physik
Sprache	Englisch
Qualifikationsziele	Die Studierenden kennen das Konzept photovoltaischer Energieerzeugung und sind vorbereitet für wissenschaftliche Arbeiten in diesem Fachgebiet. <i>Students are familiar with the concept of photovoltaic power generation and are prepared for scientific work in this field.</i>
Inhalt	Es werden folgende Themen behandelt: <ul style="list-style-type: none"> • Konzept photovoltaischer Energieerzeugung • Theoretische, technische und ökonomische Grenzen der Photovoltaik • Technologie verschiedener Solarzellentypen • Fabrikation von Solarzellen

	<p><i>The following topics will be covered:</i></p> <ul style="list-style-type: none"> - Concept of photovoltaic energy generation - Theoretical, technical and economic limits of photovoltaics - Technology of different types of solar cells - Fabrication of solar cells 				
Lehrveranstaltungen und Lehrformen	<ul style="list-style-type: none"> • Fundamentals of Photovoltaics (V) 				2 SWS
Arbeitsaufwand (Teilleistungen und insgesamt)	<ul style="list-style-type: none"> • Vorlesung 	LP 3	P (Std) 28	S (Std) 32	PV (Std) 30
	Gesamtaufwand	3	28	32	30
Studien-/Prüfungsleistungen	Prüfungsart: Schriftliche Ausarbeitung Sprache der Prüfung: Englisch Abweichungen werden zu Beginn der Veranstaltung bekannt gegeben.				
Dauer	1 Semester				
Häufigkeit des Angebots	jährlich				
Literatur	Wird in der Veranstaltung bekannt gegeben.				

Modultitel	Complex Materials
Modulnummer/-kürzel	PHY-MV-FN-E36
Semester	Sommersemester
Verwendbarkeit, Modultyp und Zuordnung zum Curriculum	<ul style="list-style-type: none"> • Nanowissenschaften (B.Sc.) (nur 6. FS): Wahlpflichtmodul • Nanowissenschaften (M.Sc.): Wahlpflichtmodul • Physik (M.Sc.): Wahlpflichtmodul • Physics (M.Sc.): Wahlpflichtmodul
Voraussetzungen für die Teilnahme	Verbindlich: keine Empfohlen: keine
Modulverantwortliche/r	Prof. Dr. Dorota Koziej
Lehrende	Prof. Dr. Dorota Koziej
Sprache	Englisch
Qualifikationsziele	Die Studierenden kennen den theoretischen Hintergrund und haben praktische Erfahrungen mit komplexen Materialien erworben. <i>Students know the theoretical background and have acquired practical experience with complex materials.</i>
Inhalt	Der Kurs ist in drei Teile unterteilt: I) Synthese von 0-, 1-, 2- und 3-dimensionalen Bausteinen mit einer Längenskala von nm bis μm . Inkl. praktische Aspekte der Batch- und Flow-Chemie.

	<p>II) Zusammenbau von Bausteinen zu 1-, 2- und 3-dimensionalen komplexen Strukturen über mehrere Längenskalen bis zu cm. In Teil I werden verschiedene Methoden zur Synthese der anorganischen und polymeren Bausteine diskutiert. Teil II konzentriert sich auf Selbst- und gerichtete Montageverfahren, Dispersions-basierte Beschichtung, 2D- und 3D-Drucktinten-Druck, die verwendet werden können, um Architekturen höherer Ordnung aus jenen Bausteinen zu erstellen, die die mikroskopische mit der makroskopischen Welt und deren Anwendungen verbinden.</p> <p>Teil III konzentriert sich auf die Anwendung der erlernten Konzepte auf ein Problem moderner Funktionsmaterialien. Dies beinhaltet die Umsetzung der eigenen Ideen im Labor.</p> <p><i>The course is divided into three parts:</i></p> <p><i>I) Synthesis of 0-, 1-, 2- and 3-dimensional building blocks with a length scale from nm to μm. Including practical aspects of batch and flow chemistry.</i></p> <p><i>II) Assembly of building blocks into 1-, 2-, and 3-dimensional complex structures over multiple length scales up to cm. In Part I, various methods for synthesis of inorganic and polymeric building blocks are discussed. Part II focuses on self- and directional assembly methods, dispersion-based coating, 2D and 3D ink printing that can be used to create higher order architectures from those building blocks that connect the microscopic to the macroscopic world and their applications.</i></p> <p><i>Part III focuses on applying the concepts learned to a problem of modern functional materials. This includes the implementation of the students' own ideas in the laboratory.</i></p>				
Lehrveranstaltungen und Lehrformen	<ul style="list-style-type: none"> • Complex Materials (V) • Project (Pj) 			3 SWS	2 SWS
Arbeitsaufwand (Teilleistungen insgesamt) und		LP	P (Std)	S (Std)	PV (Std)
	<ul style="list-style-type: none"> • Vorlesung • Projekt 	4	42	40	38
Gesamtaufwand		6	84	94	62
Studien-/Prüfungsleistungen	<p>Studienleistung: Projektabschluss <i>project completion</i></p> <p>Prüfungsart: Referat mit schriftlicher Ausarbeitung</p> <p>Sprache der Prüfung: Englisch</p> <p>Abweichungen werden zu Beginn der Veranstaltung bekannt gegeben.</p>				
Dauer	1 Semester				
Häufigkeit des Angebots	jährlich				
Literatur	Wird in der Veranstaltung bekannt gegeben.				

Modultitel	Wahlpflichtpraktikum Physik
Modulnummer/-kürzel	PHY-MV-FN-E37
Semester	Wintersemester und Sommersemester

Verwendbarkeit, Modultyp und Zuordnung zum Curriculum	<ul style="list-style-type: none"> • Nanowissenschaften (M.Sc.): Wahlpflichtmodul • Physik (M.Sc.): Wahlpflichtmodul • Physics (M.Sc.): Wahlpflichtmodul 				
Voraussetzungen für die Teilnahme	Verbindlich: keine Empfohlen: keine				
Modulverantwortliche/r	Mitglieder aus der Gruppe der Hochschullehrer:innen des Fachbereichs Physik.				
Lehrende	Mitglieder des Lehrkörpers aus dem Fachbereich Physik				
Sprache	Deutsch oder Englisch				
Qualifikationsziele	<p>Besitz der Kenntnis und Anwendung moderner und anspruchsvoller Methoden oder Kenntnisse moderner Techniken und Verfahren. Die Studierende besitzen die Schlüsselqualifikationen (insbesondere Methodenkompetenz, Arbeitsplanung, Sozialkompetenz/Teamarbeit, Erstellung von Dokumentationen, Übung eines wissenschaftlichen Vortrags, Literaturrecherche) in Verbindung mit physikalischen Inhalten.</p> <p><i>Possession of knowledge and application of modern and sophisticated methods or knowledge of modern techniques and procedures. The students possess the key qualifications (in particular methodological competence, work planning, social competence/teamwork, preparation of documentation, practice of a scientific presentation, literary research) in connection with physical contents.</i></p>				
Inhalt	<p>Das Wahlpflichtpraktikum kann in einer Arbeitsgruppe der Physik nach Wahl durchgeführt werden.</p> <p><i>The elective internship can be done in a physics research group of the student's choice.</i></p>				
Lehrveranstaltungen und Lehrformen	<ul style="list-style-type: none"> • i.d.R. (P) + (S) 				6-15 SWS
Arbeitsaufwand (Teilleistungen und insgesamt)	<ul style="list-style-type: none"> • Praktikum mit Seminar 	LP 6-15	P (Std) 140-340	S (Std) 20-55	PV (Std) 20-55
	Gesamtaufwand	6-15	140-340	20-55	20-55
Studien-/Prüfungsleistungen	<p>Prüfungsart: Praktikumsabschluss (Vortrag und/oder schriftliche Ausarbeitung)</p> <p>Sprache der Prüfung: Deutsch oder Englisch</p> <p>Abweichungen werden zu Beginn der Veranstaltung bekannt gegeben.</p>				
Dauer	1 Semester				
Häufigkeit des Angebots	jedes Semester				
Literatur					

Modultitel	Methods in Nanobiotechnology I
Modulnummer/-kürzel	PHY-MV-FN-E39

Semester	Wintersemester					
Verwendbarkeit, Modultyp und Zuordnung zum Curriculum	<ul style="list-style-type: none"> • Nanowissenschaften (M.Sc.): Wahlpflichtmodul • Physik (M.Sc.): Wahlpflichtmodul • Physics (M.Sc.): Wahlpflichtmodul 					
Voraussetzungen für die Teilnahme	Verbindlich: keine Empfohlen: keine					
Modulverantwortliche/r	Prof. Dr. Wolfgang Parak					
Lehrende	Prof. Wolfgang Parak; Dr. Neus Feliu; Dr. Florian Schulz					
Sprache	Englisch					
Qualifikationsziele	<p>Die Studierenden kennen moderne Methoden und Aspekte der Nanobiotechnologie und sind für wissenschaftliche Arbeiten in dieser Thematik vorbereitet. Die Studierenden können fachliche Primärliteratur zum Thema verstehen, einordnen, und auch zusammenfassend vortragen.</p> <p><i>The students know modern methods and aspects of nanobiotechnology and are prepared for scientific work in this topic. The students are able to understand and classify technical primary literature on the topic and also present it in summary form.</i></p>					
Inhalt	<p>In diesem Kurs werden grundlegende Methoden der Nanobiotechnologie vorgestellt und diskutiert. Der Fokus dieses Moduls liegt in der Synthese von Materialien, besonders der von Kolloiden, und deren Charakterisierung. Experimentelle Techniken und Hintergrundinformationen über Messapparaturen werden behandelt. Als Beispiele werden die Synthese kolloidaler Nanopartikel und Mikropartikel, die Funktionalisierung von Oberflächen, Reinigungsmethoden, Bestimmung von Partikelgrößen und Partikeltrennungsprozessen, Bioconjugation, photophysikalische Grundlagen, u.s.w. behandelt.</p> <p><i>In this course, basic methods of nanobiotechnology are presented and discussed. The focus of this module is on the synthesis of materials, especially colloids, and their characterization. Experimental techniques and background information on measurement applications will be covered. Examples covered include synthesis of colloidal nanoparticles and microparticles, functionalization of surfaces, purification methods, determination of particle sizes and particle separation processes, bioconjugation, photophysical principles, etc.</i></p>					
Lehrveranstaltungen und Lehrformen	<ul style="list-style-type: none"> • Methods in Nanobiotechnology I (V) • Exercises in Methods in Nanobiotechnology I (Ü) • Practical: Methods in Nanobiotechnology I (P) 			2 SWS	2 SWS	2 SWS
Arbeitsaufwand (Teilleistungen und insgesamt)		LP	P (Std)	S (Std)	PV (Std)	
	<ul style="list-style-type: none"> • Vorlesung • Übung • Praktikum 	3	28	32	30	
	Gesamtaufwand	7	84	96	30	
Studien-/Prüfungsleistungen	<p>Prüfungsart: Referat (50%) und mündliche Prüfung (50%) <i>presentation (50%) and oral examination (50%)</i></p> <p>Sprache der Prüfung: Englisch</p> <p>Abweichungen werden zu Beginn der Veranstaltung bekannt gegeben.</p>					

Dauer	1 Semester
Häufigkeit des Angebots	jährlich
Literatur	Wird in der Veranstaltung bekannt gegeben.

Modultitel	Nonequilibrium Statistics and Transport Theory				
Modulnummer/-kürzel	PHY-MV-FN-T13				
Semester	Sommersemester				
Verwendbarkeit, Modultyp und Zuordnung zum Curriculum	<ul style="list-style-type: none"> • Physik (M.Sc.): Wahlpflichtmodul • Physics (M.Sc.): Wahlpflichtmodul 				
Voraussetzungen für die Teilnahme	Verbindlich: keine Empfohlen: keine				
Modulverantwortliche/r	Prof. Dr. Michael Thorwart				
Lehrende	Prof. Dr. Michael Thorwart/ PD Dr. Alexander Chudnovskiy				
Sprache	Englisch				
Qualifikationsziele	<p>Studierende kennen moderne Konzepte der Quantenstatistik von Systemen im Nichtgleichgewicht und der Quantentransporttheorie und sind für das wissenschaftliche Arbeiten in diesem Gebiet vorbereitet.</p> <p><i>Students are familiar with modern concepts in quantum statistics of systems in non-equilibrium and quantum transport theory and are prepared for scientific work in this field.</i></p>				
Inhalt	<p>Moderne Konzepte der Quantenstatistik von Systemen im Nichtgleichgewicht und der Quantentransporttheorie.</p> <p><i>Modern concepts of quantum statistics of systems in nonequilibrium and quantum transport theory.</i></p>				
Lehrveranstaltungen und Lehrformen	<ul style="list-style-type: none"> • Nonequilibrium Statistics and Transport Theory (V) • Exercises in Nonequilibrium Statistics and Transport Theory (Ü) 				4 SWS 2 SWS
Arbeitsaufwand (Teilleistungen und insgesamt)		LP	P (Std)	S (Std)	PV (Std)
	<ul style="list-style-type: none"> • Vorlesung • Übung 	6	56	62	62
	Gesamtaufwand	2	28	32	-
		8	84	94	62
Studien-/Prüfungsleistungen	<p>Prüfungsart: Klausur oder mündliche Prüfung <i>written or oral examination</i></p> <p>Sprache der Prüfung: Englisch</p> <p>Abweichungen werden zu Beginn der Veranstaltung bekannt gegeben.</p>				
Dauer	1 Semester				
Häufigkeit des Angebots	zweijährlich				

Literatur	Wird in der Veranstaltung bekannt gegeben.
-----------	--

Modultitel	Theorie der kondensierten Materie I				
Modulnummer/-kürzel	PHY-MV-FN-T14				
Semester	Wintersemester				
Verwendbarkeit, Modultyp und Zuordnung zum Curriculum	<ul style="list-style-type: none"> • Nanowissenschaften (M.Sc.): Wahlpflichtmodul • Physik (M.Sc.): Wahlpflichtmodul • Physics (M.Sc.): Wahlpflichtmodul 				
Voraussetzungen für die Teilnahme	Verbindlich: keine Empfohlen: keine				
Modulverantwortliche/r	Prof. Dr. Daniela Pfannkuche				
Lehrende	Mitglieder des Lehrkörpers aus dem Fachbereich Physik				
Sprache	Deutsch oder Englisch				
Qualifikationsziele	Die Studierenden haben das grundlegende Wissen und die Erfahrung im Umgang mit typischen Methoden der Theorie der kondensierten Materie. <i>Students will have the basic knowledge and experience in using typical methods of condensed matter theory.</i>				
Inhalt	<ul style="list-style-type: none"> • Elektronen in Kristallen • Elektronische Bandstruktur • Elektronendynamik in Kristallen • Phononen • Supraleitung <i>- Electrons in crystals</i> <i>- Electronic band structure</i> <i>- Electron dynamics in crystals</i> <i>- phonons</i> <i>- Superconductivity</i>				
Lehrveranstaltungen und Lehrformen	<ul style="list-style-type: none"> • Theorie der kondensierten Materie I (V) • Übungen zur Theorie der kondensierten Materie I (Ü) 			4 SWS	2 SWS
Arbeitsaufwand (Teilleistungen und insgesamt)		LP	P (Std)	S (Std)	PV (Std)
	<ul style="list-style-type: none"> • Vorlesung • Übung 	6	56	62	62
	Gesamtaufwand	8	84	94	62
Studien-/Prüfungsleistungen	Prüfungsart: Klausur oder mündliche Prüfung <i>written or oral examination</i> Sprache der Prüfung: Deutsch oder Englisch Abweichungen werden zu Beginn der Veranstaltung bekannt gegeben.				
Dauer	1 Semester				

Häufigkeit des Angebots	jährlich
Literatur	Wird in der Veranstaltung bekannt gegeben.

Modultitel	Seminar on Selected Topics of the Quantum Theory of Condensed Matter				
Modulnummer/-kürzel	PHY-MV-FN-T17				
Semester	Wintersemester/ Sommersemester				
Verwendbarkeit, Modultyp und Zuordnung zum Curriculum	<ul style="list-style-type: none"> • Nanowissenschaften (M.Sc.): Wahlpflichtmodul • Physik (M.Sc.): Wahlpflichtmodul • Physics (M.Sc.): Wahlpflichtmodul 				
Voraussetzungen für die Teilnahme	Verbindlich: keine Empfohlen: keine				
Modulverantwortliche/r	Prof. Dr. Daniela Pfannkuche				
Lehrende	Prof. Dr. Daniela Pfannkuche				
Sprache	Englisch				
Qualifikationsziele	<p>Die Studierenden haben Grundkenntnisse über die modernen Themen und Methoden in der Theorie der kondensierten Materie. Sie sind in der Lage Wissen aus zeitgenössischen wissenschaftlichen Publikationen zusammenzutragen und in einer wissenschaftlichen Präsentation zu reproduzieren. Die Studierenden haben vertieftes Wissen über ausgewählte aktuelle Themen der Theorie der kondensierten Materie und können aktiv zu wissenschaftlichen Diskussionen beitragen.</p> <p><i>Students have basic knowledge of modern topics and methods in condensed matter theory. They are able to synthesize knowledge from contemporary scientific publications and reproduce it in a scientific presentation. Students have in-depth knowledge of selected current topics in condensed matter theory and can actively contribute to scientific discussions.</i></p>				
Inhalt	<p>Aktuelle Aspekte und neuartige Entwicklungen der Quanten-Viel-Körpertheorie: neuartige Materialien und fortgeschrittene Methoden.</p> <p><i>Current aspects and novel developments of quantum many-body theory: novel materials and advanced methods.</i></p>				
Lehrveranstaltungen und Lehrformen	<ul style="list-style-type: none"> • Seminar on Selected Topics of the Quantum Theory of Condensed Matter (S) 				2 SWS
Arbeitsaufwand (Teilleistungen und insgesamt)		LP	P (Std)	S (Std)	PV (Std)
	<ul style="list-style-type: none"> • Seminar 	3	28	32	30
	Gesamtaufwand	3	28	32	30
Studien-/Prüfungsleistungen	<p>Prüfungsart: Referat mit schriftlicher Ausarbeitung Sprache der Prüfung: Englisch Abweichungen werden zu Beginn der Veranstaltung bekannt gegeben.</p>				

Dauer	1 Semester
Häufigkeit des Angebots	jedes Semester
Literatur	Wird in der Veranstaltung bekannt gegeben.

Modultitel	Seminar on Many-Body Theory and Quantum-Statistical Methods				
Modulnummer/-kürzel	PHY-MV-FN-T18				
Semester	Wintersemester/ Sommersemester				
Verwendbarkeit, Modultyp und Zuordnung zum Curriculum	<ul style="list-style-type: none"> • Physik (M.Sc.): Wahlpflichtmodul • Physics (M.Sc.): Wahlpflichtmodul • Nanowissenschaften (M.Sc.): Wahlpflichtmodul 				
Voraussetzungen für die Teilnahme	Verbindlich: keine Empfohlen: keine				
Modulverantwortliche/r	Prof. Dr. Michael Potthoff				
Lehrende	Prof. Dr. Michael Potthoff				
Sprache	Englisch				
Qualifikationsziele	<p>Die Studierenden sind in der Lage, aktuelle physikalische Probleme auf dem Gebiet der Vielteilchentheorie und quantenstatistischer Methoden zu diskutieren und ein spezialisiertes Thema zu erarbeiten und zu präsentieren.</p> <p><i>Students will be able to discuss current physical problems in the field of many-particle theory and quantum statistical methods, and to develop and present a specialized topic.</i></p>				
Inhalt	<p>Neue Forschungsrichtungen zur Vielteilchen-Theorie und quantenstatistischen Methoden.</p> <p><i>Novel research directions on many-body theory and quantum statistical methods.</i></p>				
Lehrveranstaltungen und Lehrformen	<ul style="list-style-type: none"> • Seminar on Many-Body Theory and Quantum-Statistical Methods (S) 			2 SWS	
Arbeitsaufwand (Teilleistungen und insgesamt)		LP	P (Std)	S (Std)	PV (Std)
	<ul style="list-style-type: none"> • Seminar 	3	28	32	30
	Gesamtaufwand	3	28	32	30
Studien-/Prüfungsleistungen	<p>Prüfungsart: Referat mit schriftlicher Ausarbeitung Sprache der Prüfung: Englisch Abweichungen werden zu Beginn der Veranstaltung bekannt gegeben.</p>				
Dauer	1 Semester				
Häufigkeit des Angebots	jedes Semester				
Literatur	Wird in der Veranstaltung bekannt gegeben.				

Modultitel	Seminar on Quantum Dynamics of Nonequilibrium Nano Systems				
Modulnummer/-kürzel	PHY-MV-FN-T19				
Semester	Wintersemester/ Sommersemester				
Verwendbarkeit, Modultyp und Zuordnung zum Curriculum	<ul style="list-style-type: none"> • Nanowissenschaften (M.Sc.): Wahlpflichtmodul • Physik (M.Sc.): Wahlpflichtmodul • Physics (M.Sc.): Wahlpflichtmodul 				
Voraussetzungen für die Teilnahme	Verbindlich: keine Empfohlen: keine				
Modulverantwortliche/r	Prof. Dr. Michael Thorwart				
Lehrende	Prof. Dr. Michael Thorwart				
Sprache	Englisch				
Qualifikationsziele	Die Studierenden kennen aktuelle Forschungsthemen in diesem Gebiet und sind für das wissenschaftliche Arbeiten vorbereitet. <i>Students are familiar with current research topics in the field and are prepared for scientific work.</i>				
Inhalt	Wissenschaftliche Analyse von aktuellen Fragen der Quantenstatistik von Systemen im Nichtgleichgewicht und des Quantentransports. <i>Scientific analysis of current issues in quantum statistics of systems in non-equilibrium and quantum transport.</i>				
Lehrveranstaltungen und Lehrformen	<ul style="list-style-type: none"> • Seminar on Quantum Dynamics of Nonequilibrium Nano Systems (S) 				2 SWS
Arbeitsaufwand (Teilleistungen und insgesamt)		LP	P (Std)	S (Std)	PV (Std)
	<ul style="list-style-type: none"> • Seminar 	3	28	32	30
	Gesamtaufwand	3	28	32	30
Studien-/Prüfungsleistungen	Prüfungsart: Referat mit schriftlicher Ausarbeitung Sprache der Prüfung: Englisch Abweichungen werden zu Beginn der Veranstaltung bekannt gegeben.				
Dauer	1 Semester				
Häufigkeit des Angebots	jedes Semester				
Literatur	Wird in der Veranstaltung bekannt gegeben.				

Modultitel	Quantum Statistics with Path Integrals				
Modulnummer/-kürzel	PHY-MV-FN-T24				
Semester	Sommersemester				

Verwendbarkeit, Modultyp und Zuordnung zum Curriculum	<ul style="list-style-type: none"> • Nanowissenschaften (M.Sc.): Wahlpflichtmodul • Physik (M.Sc.): Wahlpflichtmodul • Physics (M.Sc.): Wahlpflichtmodul 				
Voraussetzungen für die Teilnahme	Verbindlich: keine Empfohlen: keine				
Modulverantwortliche/r	Prof. Dr. Michael Thorwart				
Lehrende	Prof. Dr. Michael Thorwart				
Sprache	Englisch				
Qualifikationsziele	<p>Die Studierenden kennen aktuelle Methoden aus dem Bereich der Pfadintegrale für Quantenvielteilchensysteme und sind für das wissenschaftliche Arbeiten vorbereitet.</p> <p><i>Students will be familiar with current methods in the field of path integrals for quantum many-body systems and will be prepared for scientific work.</i></p>				
Inhalt	<ul style="list-style-type: none"> • Fortgeschrittene Einführung in die Quantenstatistik mit Pfadintegralen • Aktuelle Methoden aus dem Bereich der Pfadintegrale für Quantenvielteilchensysteme <p><i>- Advanced introduction to quantum statistics with path integrals</i> <i>- Current methods from the field of path integrals for quantum many-particle systems</i></p>				
Lehrveranstaltungen und Lehrformen	<ul style="list-style-type: none"> • Quantum Statistics with Path Integrals (V) • Exercises in Quantum Statistics with Path Integrals (Ü) 				4 SWS 2 SWS
Arbeitsaufwand (Teilleistungen und insgesamt)		LP	P (Std)	S (Std)	PV (Std)
	<ul style="list-style-type: none"> • Vorlesung • Übung 	6 2	56 28	62 32	62 -
	Gesamtaufwand	8	84	94	62
Studien-/Prüfungsleistungen	Prüfungsart: Klausur oder mündliche Prüfung <i>written or oral examination</i> Sprache der Prüfung: Englisch Abweichungen werden zu Beginn der Veranstaltung bekannt gegeben.				
Dauer	1 Semester				
Häufigkeit des Angebots	zweijährlich				
Literatur	Wird in der Veranstaltung bekannt gegeben.				

Modultitel	Symmetry Groups in Physics
Modulnummer/-kürzel	PHY-MV-FN-T25
Semester	Wintersemester

Verwendbarkeit, Modultyp und Zuordnung zum Curriculum	<ul style="list-style-type: none"> • Nanowissenschaften (M.Sc.): Wahlpflichtmodul • Physik (M.Sc.): Wahlpflichtmodul • Physics (M.Sc.): Wahlpflichtmodul 				
Voraussetzungen für die Teilnahme	Verbindlich: keine Empfohlen: Theoretische Physik I, Theoretische Physik II				
Modulverantwortliche/r	Prof. Dr. Michael Potthoff				
Lehrende	Prof. Dr. Michael Potthoff				
Sprache	Englisch				
Qualifikationsziele	Die Studierenden kennen grundlegende Werkzeuge der Gruppentheorie und können gruppentheoretische Konzepte in verschiedenen Bereichen der Theoretischen Physik anwenden. <i>Students will be familiar with basic tools of group theory and will be able to apply group theory concepts in different fields of theoretical physics.</i>				
Inhalt	<ul style="list-style-type: none"> • Symmetriekonzepte in verschiedenen Bereichen der Physik • Grundlegende Konzepte der mathematischen Gruppentheorie • Beispiele für Symmetriegruppen in der klassischen und der Quantenmechanik • Diskrete Gruppen, Anwendung in der Geometrie und der Theorie kondensierter Materie • Gruppenwirkungen, Darstellungstheorie • Topologische Gruppen, Lie-Gruppen und Lie-Algebren • Anwendungen in der Quantentheorie von Vielteilchensystemen <i>- Symmetry concepts in various fields of physics.</i> <i>- Basic concepts of mathematical group theory</i> <i>- Examples of symmetry groups in classical and quantum mechanics</i> <i>- Discrete groups, applications to geometry and in condensed matter theory</i> <i>- Group actions, representation theory</i> <i>- Topological groups, Lie groups and Lie algebras</i> <i>- Applications to quantum theory of many-particle systems</i>				
Lehrveranstaltungen und Lehrformen	<ul style="list-style-type: none"> • Symmetry Groups in Physics (V) • Exercises in Symmetry Groups in Physics (Ü) 			4 SWS	2 SWS
Arbeitsaufwand (Teilleistungen und insgesamt)		LP	P (Std)	S (Std)	PV (Std)
	<ul style="list-style-type: none"> • Vorlesung • Übung 	6	56	62	62
	Gesamtaufwand	2	28	32	-
		8	84	94	62
Studien-/Prüfungsleistungen	Prüfungsart: Klausur oder mündliche Prüfung <i>written or oral examination</i> Sprache der Prüfung: Englisch Abweichungen werden zu Beginn der Veranstaltung bekannt gegeben.				
Dauer	1 Semester				
Häufigkeit des Angebots	zweijährlich				
Literatur	Wird in der Veranstaltung bekannt gegeben.				

Modultitel	Condensed-Matter Theory: Special Topics				
Modulnummer/-kürzel	PHY-MV-FN-T28				
Semester	Sommersemester				
Verwendbarkeit, Modultyp und Zuordnung zum Curriculum	<ul style="list-style-type: none"> • Nanowissenschaften (M.Sc.): Wahlpflichtmodul • Physik (M.Sc.): Wahlpflichtmodul • Physics (M.Sc.): Wahlpflichtmodul 				
Voraussetzungen für die Teilnahme	Verbindlich: keine Empfohlen: keine				
Modulverantwortliche/r	Prof. Dr. Daniela Pfannkuche/ Prof. Dr. Michael Potthoff				
Lehrende	Mitglieder des Lehrkörpers aus dem Fachbereich Physik				
Sprache	Englisch				
Qualifikationsziele	Die Studierenden kennen moderne Themen und haben Erfahrung im Umgang mit speziellen Methoden der Theorie der kondensierten Materie. <i>Students are familiar with modern topics and have experience in using special methods of condensed matter theory.</i>				
Inhalt	<ul style="list-style-type: none"> • Topologische Eigenschaften ausgewählter Modellsysteme • Ballistischer Transport • Quanten-Hall-Effekte • Green's Funktionen und diagrammatische Störungstheorie • Magnetismus <p>- <i>Topological properties of selected model systems</i> - <i>Ballistic transport</i> - <i>Quantum Hall effects</i> - <i>Green's functions and diagrammatic perturbation theory</i> - <i>Magnetism</i></p>				
Lehrveranstaltungen und Lehrformen	<ul style="list-style-type: none"> • Condensed-Matter Theory: Special Topics (V) • Exercises - Condensed-Matter Theory: Special Topics (Ü) 				4 SWS 2 SWS
Arbeitsaufwand (Teilleistungen und insgesamt)		LP	P (Std)	S (Std)	PV (Std)
	<ul style="list-style-type: none"> • Vorlesung • Übung 	6	56	62	62
	Gesamtaufwand	2	28	32	-
		8	84	94	62
Studien-/Prüfungsleistungen	Prüfungsart: Klausur oder mündliche Prüfung <i>written or oral examination</i> Sprache der Prüfung: Englisch Abweichungen werden zu Beginn der Veranstaltung bekannt gegeben.				
Dauer	1 Semester				
Häufigkeit des Angebots	jährlich				

Literatur	Wird in der Veranstaltung bekannt gegeben.
-----------	--

Laserphysik und Photonik (Laser physics and photonics):

Modultitel	Methoden moderner Röntgenphysik I - Spektroskopie
Modulnummer/-kürzel	PHY-MV-LP-E05
Semester	Wintersemester
Verwendbarkeit, Modultyp und Zuordnung zum Curriculum	<ul style="list-style-type: none"> • Nanowissenschaften (M.Sc.): Wahlpflichtmodul • Physik (M.Sc.): Wahlpflichtmodul • Physics (M.Sc.): Wahlpflichtmodul
Voraussetzungen für die Teilnahme	Verbindlich: keine Empfohlen: keine
Modulverantwortliche/r	PD Dr. Michael Martins
Lehrende	PD Dr. Michael Martins; Dr. Edgar Weckert
Sprache	Deutsch oder Englisch
Qualifikationsziele	<p>Studierende haben die Grundlagen moderner Röntgenphysik erarbeitet. Sie kennen die Einführung in die Thematik aber auch die Anwendungen von Röntgenstrahlung zur Untersuchung verschiedenster Systeme. Studierende haben ein fundiertes Fachwissen erlangt, um eine experimentelle Masterarbeit auf dem Gebiet der Wechselwirkung von Röntgenstrahlung mit Materie erfolgreich zu absolvieren.</p> <p><i>Students have worked out the basics of modern X-ray physics. They know the introduction to the subject but also the applications of X-rays for the investigation of a wide variety of systems. Students have acquired a sound technical knowledge to successfully complete an experimental master thesis in the field of interaction of X-rays with matter.</i></p>
Inhalt	<p>Dazu gehört eine Einführung in die Thematik aber auch die Anwendungen von Röntgenstrahlung zur Untersuchung verschiedenster Systeme</p> <ul style="list-style-type: none"> • Wechselwirkung von Röntgenstrahlung mit Materie Absorption, Streuung, Auger Effekt, Harte- und weiche Röntgenstrahlung • Beschleunigerbasierte Quellen für Röntgenstrahlung Synchrotronstrahlung und Freie Elektronen Laser • Experimentelle Methoden Spektroskopie und Beugung • Röntgenoptik Optische Materialien, EUV Lithographie, Fresnel Gleichungen • Anwendung von Röntgenstrahlung Kleine Quantensysteme

	<p><i>This includes an introduction to the subject matter but also the applications of X-rays to study a wide variety of systems</i></p> <ul style="list-style-type: none"> - <i>Interaction of X-rays with matter</i> <p><i>Absorption, scattering, Auger effect, hard and soft X-rays</i></p> <ul style="list-style-type: none"> - <i>Accelerator-based sources of X-rays</i> <p><i>Synchrotron radiation and free electron lasers</i></p> <ul style="list-style-type: none"> - <i>Experimental methods</i> <p><i>Spectroscopy and diffraction</i></p> <ul style="list-style-type: none"> - <i>X-ray optics</i> <p><i>Optical materials, EUV lithography, Fresnel equations</i></p> <ul style="list-style-type: none"> - <i>Application of X-Ray Radiation</i> <p><i>Small quantum systems</i></p>				
Lehrveranstaltungen und Lehrformen	<ul style="list-style-type: none"> • Methoden moderner Röntgenphysik I (V) • Übungen zu Methoden moderner Röntgenphysik I (Ü) 				4 SWS 2 SWS
Arbeitsaufwand (Teilleistungen und insgesamt)		LP	P (Std)	S (Std)	PV (Std)
	<ul style="list-style-type: none"> • Vorlesung • Übung 	6 2	56 28	62 32	62 -
	Gesamtaufwand	8	84	94	62
Studien-/Prüfungsleistungen	Prüfungsart: Klausur oder mündliche Prüfung <i>written or oral examination</i> Sprache der Prüfung: Deutsch oder Englisch Abweichungen werden zu Beginn der Veranstaltung bekannt gegeben.				
Dauer	1 Semester				
Häufigkeit des Angebots	jährlich				
Literatur	Wird in der Veranstaltung bekannt gegeben; umfangreiches Folienskript.				

Modultitel	Moderne Molekülphysik – Clusterphysik
Modulnummer/-kürzel	PHY-MV-LP-E06
Semester	Sommersemester
Verwendbarkeit, Modultyp und Zuordnung zum Curriculum	<ul style="list-style-type: none"> • Physik (M.Sc.): Wahlpflichtmodul • Physics (M.Sc.): Wahlpflichtmodul
Voraussetzungen für die Teilnahme	Verbindlich: keine Empfohlen: keine
Modulverantwortliche/r	PD Dr. Michael Martins
Lehrende	PD Dr. Michael Martins
Sprache	Deutsch oder Englisch

<p>Qualifikationsziele</p>	<p>Die Studierenden haben Kenntnisse über die Grundlagen, Anwendungen und den wissenschaftlichen Stand der Forschung an Clustern, sowie das Wissen zur Berechnung geometrischer und elektronischer Strukturen kleiner Cluster.</p> <p>Sie kennen das Fachgebiet zum Größenbereich, welches zwischen den Atomen und der Festkörperphysik liegt. Das erworbene Fachwissen dient dazu, eine experimentelle Masterarbeit im Gebiet sehr kleiner Nanostrukturen erfolgreich anfertigen zu können.</p> <p>Die Studierenden können geometrische und elektronische Strukturen kleiner Cluster berechnen, die sie durch die Übungen zur Einführung in die quantenchemische Rechnung ermöglicht wurden.</p> <p><i>Students have knowledge of the fundamentals, applications and scientific status of research on clusters, as well as the knowledge to calculate geometric and electronic structures of small clusters.</i></p> <p><i>They know the subject area to the size range, which lies between atoms and solid state physics. The acquired knowledge will enable them to successfully complete an experimental master thesis in the field of very small nanostructures.</i></p> <p><i>The students are able to calculate geometrical and electronic structures of small clusters, which they have been enabled to do by the exercises of the introduction to quantum chemical calculus.</i></p>
<p>Inhalt</p>	<ul style="list-style-type: none"> • Einführung in die Clusterphysik: Was sind Cluster? • Grundlagen quantenchemischer Methoden • Experimentelle Methoden der Cluster-, Molekül, und Ionenphysik • Bindungen in Clustern <p>Geometrische, elektronische, chemische und magnetische Eigenschaften von massenselektierten Clustern</p> <p>Im Einzelnen werden die folgenden Themen behandelt</p> <ul style="list-style-type: none"> • Experimentelle Methoden der Clusterphysik: Herstellung, Nachweis Spektroskopie • Einführung in die Quantenchemie sowie der Berechnung von Clustern und Molekülen • Geometrische Struktur von Clustern und Strukturbestimmung • Elektronische Struktur von Cluster – Photoelektronenspektroskopie, Metallcluster, magnetische Eigenschaften • Chemische Eigenschaften und Katalyse • Kohlenstoffcluster, Fullerene und Nanotubes <p><i>- Introduction to cluster physics: What are clusters?</i></p> <p><i>- Fundamentals of quantum chemical methods</i></p> <p><i>- Experimental methods of cluster, molecule, and ion physics</i></p> <p><i>- Bonds in clusters</i></p> <p><i>Geometric, electronic, chemical, and magnetic properties of mass-selected clusters</i></p> <p><i>In detail the following topics are covered</i></p> <p><i>- Experimental methods of cluster physics: fabrication, detection spectroscopy</i></p>

	<ul style="list-style-type: none"> - <i>Introduction to quantum chemistry and the calculation of clusters and molecules</i> - <i>Geometric structure of clusters and structure determination</i> - <i>Electronic structure of clusters - photoelectron spectroscopy, metal clusters, magnetic properties</i> - <i>Chemical properties and catalysis</i> - <i>Carbon clusters, fullerenes and nanotubes</i> 				
Lehrveranstaltungen und Lehrformen	<ul style="list-style-type: none"> • Moderne Molekülphysik – Clusterphysik (V) • Übungen zu Moderne Molekülphysik – Clusterphysik (Ü) 				4 SWS 2 SWS
Arbeitsaufwand (Teilleistungen und insgesamt)		LP	P (Std)	S (Std)	PV (Std)
	<ul style="list-style-type: none"> • Vorlesung • Übung 	6 2	56 28	62 32	62 -
	Gesamtaufwand	8	84	94	62
Studien-/Prüfungsleistungen	Prüfungsart: Klausur oder mündliche Prüfung <i>written or oral examination</i> Sprache der Prüfung: Deutsch oder Englisch Abweichungen werden zu Beginn der Veranstaltung bekannt gegeben.				
Dauer	1 Semester				
Häufigkeit des Angebots	jährlich				
Literatur	Umfangreiches Folienskript				

Modultitel	Einführung in die Physik der Quantengase
Modulnummer/-kürzel	PHY-MV-LP-E09
Semester	Wintersemester
Verwendbarkeit, Modultyp und Zuordnung zum Curriculum	<ul style="list-style-type: none"> • Physik (M.Sc.): Wahlpflichtmodul • Physics (M.Sc.): Wahlpflichtmodul
Voraussetzungen für die Teilnahme	Verbindlich: keine Empfohlen: keine
Modulverantwortliche/r	Prof. Dr. Andreas Hemmerich
Lehrende	Prof. Dr. Andreas Hemmerich
Sprache	Deutsch oder Englisch
Qualifikationsziele	Studierende sind mit einem zentralen Gebiet der modernen Atomphysik vertraut. Sie kennen den Stand der Forschung und können selbständig Originalliteratur lesen. Experimentelle Beobachtungen und grundlegende theoretische Konzepte sind gleichermaßen Thema. Studierende sind auf eine experimentelle oder theoretische Masterarbeit im Bereich ultrakalter Atome vorbereitet. <i>Students are familiar with a central area of modern atomic physics. They know the state of the art in research and can read original literature independently.</i>

	<i>Experimental observations and basic theoretical concepts are equally covered. Students are prepared for an experimental or theoretical master thesis in the field of ultracold atoms.</i>				
Inhalt	<p>Die Vorlesung behandelt zunächst die Kühlung atomarer Gase mit Hilfe von Laserlicht als zentrale Methode zur Annäherung an den absoluten Temperaturnullpunkt und führt dann in die Quantenphysik von Gasen am absoluten Temperaturnullpunkt ein. Fundamentale Konzepte im Schnittpunkt von Quantenoptik, Thermodynamik und Vielteilchen-Quantenphysik werden detaillierten experimentellen Beobachtungen gegenübergestellt.</p> <p><i>The lecture first discusses the cooling of atomic gases using laser light as a central method for approaching absolute temperature zero and then introduces the quantum physics of gases at absolute temperature zero. Fundamental concepts at the intersection of quantum optics, thermodynamics, and many-body quantum physics are contrasted with detailed experimental observations.</i></p>				
Lehrveranstaltungen und Lehrformen	<ul style="list-style-type: none"> • Einführung in die Physik der Quantengase (V) • Übungen zur Einführung in die Physik der Quantengase (Ü) 			4 SWS	2 SWS
Arbeitsaufwand (Teilleistungen und insgesamt)		LP	P (Std)	S (Std)	PV (Std)
	<ul style="list-style-type: none"> • Vorlesung • Übung 	6	56	62	62
	Gesamtaufwand	8	84	94	62
Studien-/Prüfungsleistungen	Prüfungsart: Klausur oder mündliche Prüfung <i>written or oral examination</i> Sprache der Prüfung: Deutsch oder Englisch Abweichungen werden zu Beginn der Veranstaltung bekannt gegeben.				
Dauer	1 Semester				
Häufigkeit des Angebots	jährlich				
Literatur	Laser Cooling and Trapping, H. Metcalf, P. van der Straaten, Springer Verlag (1999); Bose-Einstein Condensation in Dilute Gases, C. J. Pethick and H. Smith, Cambridge University Press (2002); Vorlesungsunterlagen: http://photon.physnet.uni-hamburg.de/ilp/hemmerich/teaching/				

Modultitel	Methoden moderner Röntgenphysik II - Struktur und Dynamik kondensierter Materie
Modulnummer/-kürzel	PHY-MV-LP-E10
Semester	Sommersemester
Verwendbarkeit, Modultyp und Zuordnung zum Curriculum	<ul style="list-style-type: none"> • Nanowissenschaften (M.Sc.): Wahlpflichtmodul • Physik (M.Sc.): Wahlpflichtmodul • Physics (M.Sc.): Wahlpflichtmodul

Voraussetzungen für die Teilnahme	Verbindlich: keine Empfohlen: Methoden moderner Röntgenphysik I				
Modulverantwortliche/r	PD Dr. Michael Martins				
Lehrende	PD Dr. Michael Martins				
Sprache	Deutsch oder Englisch				
Qualifikationsziele	<p>Die Studierenden besitzen vertiefte Kenntnisse über den wissenschaftlichen Stand der experimentellen Forschung in der Festkörperphysik mit modernen Methoden der Röntgenphysik, sowie vertieftes experimentelles Fachwissen, um eine experimentelle Masterarbeit im Gebiet der Festkörper- und Nanostrukturphysik erfolgreich durchführen zu können.</p> <p><i>Students will have in-depth knowledge of the scientific state of the art of experimental research in solid state physics using modern methods of X-ray physics, as well as in-depth experimental expertise to successfully conduct an experimental master's thesis in the field of solid state and nanostructure physics.</i></p>				
Inhalt	<ul style="list-style-type: none"> • Kohärenz und ihre Anwendung (Interferenz, Beugung, Speckle, Kohärenzlängen und -funktion, Strukturbestimmung mit kohärenter Röntgenstreuung) • Weiche Materie (Polymere, Kolloide, Nanocomposite, Röntgenkleinwinkelstreuung und Anwendungen) • Glass Physik (physikalische Eigenschaften, Strukturbestimmung, Dynamik, kernresonante Streuung) • Korrelierte Elektronensysteme (strukturelle Eigenschaften, Phasenübergänge, resonante Röntgenstreuung, magnetische Eigenschaften, magnetische Streuung) <p><i>- Coherence and its applications (interference, diffraction, speckle, coherence lengths and function, structure determination with coherent X-ray scattering)</i></p> <p><i>- Soft matter (polymers, colloids, nanocomposites, small-angle X-ray scattering and applications)</i></p> <p><i>- Glass physics (physical properties, structure determination, dynamics, nuclear resonant scattering)</i></p> <p><i>- Correlated electron systems (structural properties, phase transitions, resonant X-ray scattering, magnetic properties, magnetic scattering)</i></p>				
Lehrveranstaltungen und Lehrformen	<ul style="list-style-type: none"> • Methoden moderner Röntgenphysik II (V) • Übungen zu Methoden moderner Röntgenphysik II (Ü) 			4 SWS	2 SWS
Arbeitsaufwand (Teilleistungen und insgesamt)		LP	P (Std)	S (Std)	PV (Std)
	<ul style="list-style-type: none"> • Vorlesung • Übung 	6	56	62	62
	Gesamtaufwand	8	84	94	62
Studien-/Prüfungsleistungen	Prüfungsart: Klausur oder mündliche Prüfung <i>written or oral examination</i> Sprache der Prüfung: Deutsch oder Englisch Abweichungen werden zu Beginn der Veranstaltung bekannt gegeben.				
Dauer	1 Semester				
Häufigkeit des Angebots	jährlich				

Literatur	wird in der Vorlesung bekannt gegeben
-----------	---------------------------------------

Modultitel	Ultrafast Optical Physics I
Modulnummer/-kürzel	PHY-MV-LP-E11
Semester	Wintersemester
Verwendbarkeit, Modultyp und Zuordnung zum Curriculum	<ul style="list-style-type: none"> • Physik (M.Sc.): Wahlpflichtmodul • Physics (M.Sc.): Wahlpflichtmodul
Voraussetzungen für die Teilnahme	Verbindlich: keine Empfohlen: keine
Modulverantwortliche/r	Prof. Dr. Markus Drescher
Lehrende	Prof. Dr. Markus Drescher
Sprache	Englisch
Qualifikationsziele	<p>Nach dem erfolgreichen Absolvieren dieses Moduls kennen und verstehen die Studierende ultrakurze Phänomene. Zudem kennen die Einführung zu Technologien, die die Grundlage für moderne Kurzpulslaser bilden. Sie haben das Grundlagenwissen zur Beschreibung ultrakurzer optischer Pulse sowie deren Generierung, Manipulation, Diagnostik und Anwendung in modernen Verfahren der nichtlinearen Optik und optischen Spektroskopie.</p> <p><i>After successful completion of this module, students will know and understand ultrashort phenomena. In addition, they know the introduction to technologies that form the basis for modern short pulse lasers. They have the basic knowledge for the description of ultrashort optical pulses as well as their generation, manipulation, diagnostics and application in modern methods of nonlinear optics and optical spectroscopy.</i></p>
Inhalt	<ul style="list-style-type: none"> • Beschreibung ultrakurzer optischer Pulse und deren Wechselwirkung mit Materie; • Erzeugung ultrakurzer Pulse mit Lasern; • Grundzüge der nichtlinearen Optik; • Diagnostik ultrakurzer optischer Pulse; • Ultrakurze Pulse in nicht-konventionellen Spektralbereichen. <p>In den zugeordneten Übungen werden gemeinsam Probleme gelöst, um die erworbenen Kenntnisse anhand von Beispielen und Aufgaben zu verfestigen.</p> <p><i>- Description of ultrashort optical pulses and their interaction with matter;</i> <i>- Generation of ultrashort pulses with lasers;</i> <i>- Basic principles of nonlinear optics;</i> <i>- Diagnostics of ultrashort optical pulses;</i> <i>- Ultrashort pulses in non-conventional spectral regions.</i></p>

	<i>In the assigned exercises, problems are solved together in order to consolidate the acquired knowledge by means of examples and tasks.</i>				
Lehrveranstaltungen und Lehrformen	<ul style="list-style-type: none"> • Ultrafast Optical Physics I (V) • Exercises in Ultrafast Optical Physics I (Ü) 				2 SWS 2 SWS
Arbeitsaufwand (Teilleistungen und insgesamt)		LP	P (Std)	S (Std)	PV (Std)
	<ul style="list-style-type: none"> • Vorlesung • Übung 	3	28	32	30
	Gesamtaufwand	2	28	32	-
		5	56	64	30
Studien-/Prüfungsleistungen	Prüfungsart: Mündliche Prüfung <i>oral examination</i> Sprache der Prüfung: Englisch Abweichungen werden zu Beginn der Veranstaltung bekannt gegeben.				
Dauer	1 Semester				
Häufigkeit des Angebots	jährlich				
Literatur	Wird in der Veranstaltung bekannt gegeben.				

Modultitel	Modern Molecular Physics
Modulnummer/-kürzel	PHY-MV-LP-E16
Semester	Wintersemester
Verwendbarkeit, Modultyp und Zuordnung zum Curriculum	<ul style="list-style-type: none"> • Physik (M.Sc.): Wahlpflichtmodul • Physics (M.Sc.): Wahlpflichtmodul
Voraussetzungen für die Teilnahme	Empfohlen: Quantenmechanik Einführung in die Atom-, Molekular- und Laserphysik und Quantenoptik Verbindlich: keine
Modulverantwortliche/r	Prof. Dr. Jochen Küpper
Lehrende	Prof. Dr. Jochen Küpper
Sprache	Englisch
Qualifikationsziele	Die Studierenden kennen die grundlegenden Konzepte moderner Experimente in der Molekülphysik. Sie haben ein detailliertes Verständnis von Atomen und Molekülen und deren Wechselwirkung mit äußeren Feldern und anderen Teilchen sowie ein Verständnis für experimentelle Konzepte in der Molekülphysik erworben. <i>Students know the basic concepts of modern experiments in molecular physics. They have acquired a detailed understanding of atoms and molecules and their interaction with external fields and other particles as well as an understanding of experimental concepts in molecular physics.</i>
Inhalt	<ul style="list-style-type: none"> • Einführung in (ausgewählte) moderne Experimente in der Molekülphysik • Struktur von zweiatomigen / linearen Molekülen

	<ul style="list-style-type: none"> • Spektroskopie von zweiatomigen / linearen Molekülen • Moleküle in externen Feldern • Grundlagen der (adiabatischen) Ausrichtung und Orientierung, Pendelzustände • molekulare Symmetrie • mehratomige Moleküle • Basis der Präzisionsspektroskopie, Frequenzkämme • Einführung in die Molekulardynamik <p>- <i>Introduction to (selected) modern experiments in molecular physics.</i> - <i>Structure of diatomic / linear molecules</i> - <i>Spectroscopy of diatomic / linear molecules</i> - <i>Molecules in external fields</i> - <i>fundamentals of (adiabatic) alignment and orientation, pendulum states</i> - <i>molecular symmetry</i> - <i>polyatomic molecules</i> - <i>basis of precision spectroscopy, frequency combs</i> - <i>introduction to molecular dynamics</i></p>				
Lehrveranstaltungen und Lehrformen	<ul style="list-style-type: none"> • Modern Molecular Physics (V) • Exercises in Modern Molecular Physics (Ü) 	2 SWS 1 SWS			
Arbeitsaufwand (Teilleistungen und insgesamt)		LP	P (Std)	S (Std)	PV (Std)
	<ul style="list-style-type: none"> • Vorlesung • Übung 	3 1	28 14	32 16	30 -
	Gesamtaufwand	4	42	48	30
Studien-/Prüfungsleistungen	Prüfungsart: Klausur oder mündliche Prüfung <i>written or oral examination</i> Sprache der Prüfung: Deutsch oder Englisch Abweichungen werden zu Beginn der Veranstaltung bekannt gegeben.				
Dauer	1 Semester				
Häufigkeit des Angebots	jährlich				
Literatur	Wird in der Veranstaltung bekannt gegeben.				

Modultitel	Ultrafast Optical Physics II
Modulnummer/-kürzel	PHY-MV-LP-E21
Semester	Sommersemester
Verwendbarkeit, Modultyp und Zuordnung zum Curriculum	<ul style="list-style-type: none"> • Physik (M.Sc.): Wahlpflichtmodul • Physics (M.Sc.): Wahlpflichtmodul
Voraussetzungen für die Teilnahme	Verbindlich: keine Empfohlen: keine
Modulverantwortliche/r	Prof. Dr. Franz Kärtner

Lehrende	Prof. Dr. Franz Kärtner				
Sprache	Englisch				
Qualifikationsziele	<p>Die Studierenden haben fortgeschrittenes Wissen im Bereich der ultrakurzen Pulseerzeugung, Verstärkung, Manipulation und deren Anwendungen in Spektroskopie, Metrologie und den Attosekundenwissenschaften. Nach erfolgreichem Abschluss sind Studierende in der Lage, Ultrakurzpuls Laser-Oszillatoren und Verstärker, sowie die Pulseausbreitung in linearen und nichtlinearen Medien quantitativ zu modellieren und zu analysieren.</p> <p><i>Students will have advanced knowledge in ultrashort pulse generation, amplification, manipulation and their applications in spectroscopy, metrology and the attosecond sciences. Upon successful completion, students will be able to quantitatively model and analyze ultrashort pulse laser oscillators and amplifiers, and pulse propagation in linear and nonlinear media.</i></p>				
Inhalt	<ul style="list-style-type: none"> • Ultrakurze Pulseerzeugung • Verstärkung, Manipulation und deren Anwendungen in Spektroskopie, Metrologie und den Attosekundenwissenschaften • Ultrakurzpuls Laser-Oszillatoren und Verstärker • Pulseausbreitung in linearen und nichtlinearen Medien <p>- <i>Ultrafast pulse generation</i></p> <p>- <i>Amplification, manipulation and their applications in spectroscopy, metrology and the attosecond sciences</i></p> <p>- <i>Ultra-short pulse laser oscillators and amplifiers</i></p> <p>- <i>Pulse propagation in linear and nonlinear media</i></p>				
Lehrveranstaltungen und Lehrformen	<ul style="list-style-type: none"> • Ultrafast Optical Physics II (V) • Exercises in Ultrafast Optical Physics II (Ü) 			3 SWS	1 SWS
Arbeitsaufwand (Teilleistungen und insgesamt)		LP	P (Std)	S (Std)	PV (Std)
	<ul style="list-style-type: none"> • Vorlesung • Übung 	5	42	54	54
	Gesamtaufwand	1	14	16	-
		6	56	70	54
Studien-/Prüfungsleistungen	Prüfungsart: Klausur oder mündliche Prüfung <i>written or oral examination</i> Sprache der Prüfung: Englisch Abweichungen werden zu Beginn der Veranstaltung bekannt gegeben.				
Dauer	1 Semester				
Häufigkeit des Angebots	jährlich				
Literatur	Wird in der Veranstaltung bekannt gegeben.				

Modultitel	Light-Matter-Interactions: Atoms, Molecules & (Non) Linear Optics
Modulnummer/-kürzel	PHY-MV-LP-E22
Semester	Sommersemester

Verwendbarkeit, Modultyp und Zuordnung zum Curriculum	<ul style="list-style-type: none"> • Physik (M.Sc.): Wahlpflichtmodul • Physics (M.Sc.): Wahlpflichtmodul 				
Voraussetzungen für die Teilnahme	Verbindlich: keine Empfohlen: keine				
Modulverantwortliche/r	Prof. Dr. Christian Bressler				
Lehrende	Mitglieder des Lehrkörpers aus dem Fachbereich Physik				
Sprache	Englisch				
Qualifikationsziele	<p>Die Studierenden lernen über (klassische) Konzepte zur strahlenden Lebensdauer und Linienbreite, Polarisation und die Methoden zu deren Messung (Spektrometer, Detektoren, TCSPC, usw.). Wir entwickeln ein Verständnis zu verschiedenen Verbreiterungsmechanismen (Druck, Doppler, Laufzeit, usw.), und diese Konzepte werden auf die Erzeugung von und Spektroskopie mittels Röntgenstrahlung übertragen.</p> <p><i>Students will learn about (classical) radiation lifetimes and linewidths, polarization and methods to measure these properties (spectrometers, detectors, TCSPC, etc.). We develop an understanding of various broadening mechanisms (pressure, Doppler, travel time, etc.), and the concepts will be transposed towards x-ray generation and spectroscopy.</i></p>				
Inhalt	Reminder Maxwell equations, spectrometer resolution, Bohr-model, Fourier-transformations				
Lehrveranstaltungen und Lehrformen	<ul style="list-style-type: none"> • Light-Matter Interactions: Atoms, Molecules & (Non) Linear Optics (V) • Exercises in Light-Matter Interactions: Atoms, Molecules & (Non) Linear Optics (Ü) 			2 SWS	1 SWS
Arbeitsaufwand (Teilleistungen und insgesamt)		LP	P (Std)	S (Std)	PV (Std)
	<ul style="list-style-type: none"> • Vorlesung • Übung 	3 1	28 14	32 16	30 -
	Gesamtaufwand	4	42	48	30
Studien-/Prüfungsleistungen	Prüfungsart: Klausur oder mündliche Prüfung <i>written or oral examination</i> Sprache der Prüfung: Englisch Abweichungen werden zu Beginn der Veranstaltung bekannt gegeben.				
Dauer	1 Semester				
Häufigkeit des Angebots	jährlich				
Literatur	Demtröder: Laser Spectroscopy				

Modultitel	Ultrakalte Quantengase
-------------------	-------------------------------

Modulnummer/-kürzel	PHY-MV-LP-E26				
Semester	Wintersemester				
Verwendbarkeit, Modultyp und Zuordnung zum Curriculum	<ul style="list-style-type: none"> • Physik (M.Sc.): Wahlpflichtmodul • Physics (M.Sc.): Wahlpflichtmodul 				
Voraussetzungen für die Teilnahme	Verbindlich: keine Empfohlen: keine				
Modulverantwortliche/r	Prof. Dr. Klaus Sengstock				
Lehrende	Mitglieder des Lehrkörpers aus dem Fachbereich Physik				
Sprache	Deutsch oder Englisch				
Qualifikationsziele	<p>Nach erfolgreichem Absolvieren des Moduls haben die Studierenden Kenntnis über die aktuellen Forschungsthemen im Bereich ultrakalter Quantengase. Desweiteren besitzen sie das Verständnis der zugrundeliegenden Konzepte mittels experimenteller und theoretischer Methoden.</p> <p><i>After successful completion of the module, students will have knowledge of current research topics in the field of ultracold quantum gases. Furthermore, they will have an understanding of the underlying concepts using experimental and theoretical methods.</i></p>				
Inhalt	<p>Hubbard-Modelle, Zweidimensionale Bose-Gase, Künstliche Eichfelder, BEC-BCS Übergang</p> <p><i>Hubbard models, Two-dimensional Bose gases, Artificial gauge fields, BEC-BCS transition</i></p>				
Lehrveranstaltungen und Lehrformen	<ul style="list-style-type: none"> • Ultrakalte Quantengase (V) • Übungen zu Ultrakalte Quantengase (Ü) 			2 SWS	2 SWS
Arbeitsaufwand (Teilleistungen und insgesamt)		LP	P (Std)	S (Std)	PV (Std)
	<ul style="list-style-type: none"> • Vorlesung • Übung 	3	28	32	30
	Gesamtaufwand	2	28	32	-
		5	56	64	30
Studien-/Prüfungsleistungen	<p>Prüfungsart: Klausur oder mündliche Prüfung <i>written or oral examination</i></p> <p>Sprache der Prüfung: Deutsch oder Englisch</p> <p>Abweichungen werden zu Beginn der Veranstaltung bekannt gegeben.</p>				
Dauer	1 Semester				
Häufigkeit des Angebots	jährlich				
Literatur	<p>Many-body physics with ultracold gases; Immanuel Bloch, Jean Dalibard, Wilhelm Zwerger; Rev. Mod. Phys. 80, 885 (2008);</p> <p>Quantum Gas Experiments: Exploring many-body states; edited by Päivi Törmä and Klaus Sengstock; ISBN 978-1-78326-474-2 (2014).</p>				

Modultitel	Nonlinear Optics				
Modulnummer/-kürzel	PHY-MV-LP-E27				
Semester	Wintersemester				
Verwendbarkeit, Modultyp und Zuordnung zum Curriculum	<ul style="list-style-type: none"> • Physik (M.Sc.): Wahlpflichtmodul • Physics (M.Sc.): Wahlpflichtmodul 				
Voraussetzungen für die Teilnahme	Verbindlich: keine Empfohlen: keine				
Modulverantwortliche/r	Prof. Dr. Franz Xaver Kärtner				
Lehrende	Prof. Dr. Franz Xaver Kärtner				
Sprache	Englisch				
Qualifikationsziele	<p>Studierende kennen die wichtigsten nichtlinearen optischen Prozesse. Sie sind in der Lage, Frequenzkonvertierungseinheiten, ultraschnelle parametrische optische Verstärker und Messtechniken basierend auf nichtlinearen optischen Prozessen zu simulieren und zu entwerfen.</p> <p><i>Students know the most important nonlinear optical processes. They are able to simulate and design frequency conversion units, ultrafast parametric optical amplifiers and measurement techniques based on nonlinear optical processes.</i></p>				
Inhalt	<p>Nichtlineare optische Konzepte und Symmetrien, nichtlineare Wellengleichung, Erzeugung der zweiten Harmonischen, Phasenanpassung, Quasi-Phasenanpassung, optische Rektifikation, Many-Rowe-Beziehungen, Summen- und Differenzfrequenzerzeugung, optische parametrische Verstärkung, ultraschnelle optische parametrische Verstärkung, nichtlineare dritte Ordnung Effekte, Erzeugung dritter Harmonischer, Kerr-Effekt, Selbstphasenmodulation, Selbstfokussierung, stimulierte Raman- und Brillouin-Streuung, optische Solitonen, extreme nichtlineare Optik: Carrier-Wave Rabi-flopping, Oberwellenerzeugung höherer Ordnung, starke Feldphysik in Festkörpern.</p> <p><i>Nonlinear optical concepts and symmetries, nonlinear wave equation, second harmonic generation, phase matching, quasi-phase matching, optical rectification, many-Rowe relationships, sum and difference frequency generation, optical parametric amplification, ultrafast optical parametric amplification, nonlinear third-order effects, third-harmonic generation, Kerr effect, self-phase modulation, self-focusing, stimulated Raman and Brillouin scattering, optical solitons, extreme nonlinear optics: Carrier-wave Rabi-flopping, higher order harmonic generation, strong field physics in solids.</i></p>				
Lehrveranstaltungen und Lehrformen	<ul style="list-style-type: none"> • Nonlinear Optics (V) • Exercises in Nonlinear Optics (Ü) 				3 SWS 1 SWS
Arbeitsaufwand (Teilleistungen und insgesamt)	<ul style="list-style-type: none"> • Vorlesung • Übung 	LP	P (Std)	S (Std)	PV (Std)
		5	42	54	54
	1	14	16	-	
Gesamtaufwand		6	56	70	54

Studien-/Prüfungsleistungen	Prüfungsart: Klausur oder mündliche Prüfung <i>written or oral examination</i> Sprache der Prüfung: Englisch Abweichungen werden zu Beginn der Veranstaltung bekannt gegeben.
Dauer	1 Semester
Häufigkeit des Angebots	jährlich
Literatur	Nonlinear Optics, R. W. Boyd, Academic Press 2008; The Elements of Nonlinear Optics, P. N. Butcher, Cambridge University Press, 1991.

Modultitel	Nichtklassisches Licht und die zentralen Konzepte der modernen Quantenphysik				
Modulnummer/-kürzel	PHY-MV-LP-E28				
Semester	Wintersemester				
Verwendbarkeit, Modultyp und Zuordnung zum Curriculum	<ul style="list-style-type: none"> • Physik (M.Sc.): Wahlpflichtmodul • Physics (M.Sc.): Wahlpflichtmodul 				
Voraussetzungen für die Teilnahme	Verbindlich: keine Empfohlen: Festkörperlaser, Grundkenntnisse der Quantenmechanik				
Modulverantwortliche/r	Prof. Dr. Roman Schnabel				
Lehrende	Prof. Dr. Roman Schnabel				
Sprache	Deutsch oder Englisch				
Qualifikationsziele	<p>Nach erfolgreichem Absolvieren des Moduls können Studierende die wesentlichen wissenschaftlichen Entwicklungen auf dem Gebiet der nichtklassischen Lichtzustände zusammenfassen und haben über den Begriff der „Nichtklassizität“ ein vertieftes Verständnis der Quantenphysik erlangt.</p> <p><i>After successfully completing the module, students will be able to summarize the main scientific developments in the field of non-classical light states and will have gained a deeper understanding of quantum physics via the concept of "non-classicality".</i></p>				
Inhalt	<p>Kriterien für Nichtklassizität; Detektion und Erzeugung von Fock-Zuständen, gequetschten Zuständen und Einstein-Podolsky-Rosen verschränkten Zuständen; sowie die Bell'sche Ungleichung, Teleportation und Quantenschlüsselverteilung.</p> <p><i>Criteria for nonclassicality; detection and generation of Fock states, squeezed states, and Einstein-Podolsky-Rosen restricted states; and Bell's inequality, teleportation, and quantum key distribution.</i></p>				
Lehrveranstaltungen und Lehrformen	<ul style="list-style-type: none"> • Nichtklassisches Licht und die zentralen Konzepte der modernen Quantenphysik (V) • Übungen zu Nichtklassisches Licht und die zentralen Konzepte der modernen Quantenphysik (Ü) 			4 SWS	
				2 SWS	
	<ul style="list-style-type: none"> • Vorlesung 	LP	P (Std)	S (Std)	PV (Std)

Arbeitsaufwand (Teilleistungen und insgesamt)	• Übung	6 2	56 28	62 32	62 -
	Gesamtaufwand	8	84	94	62
Studien- /Prüfungsleistungen	Prüfungsart: Klausur oder mündliche Prüfung <i>written or oral examination</i> Sprache der Prüfung: Deutsch oder Englisch Abweichungen werden zu Beginn der Veranstaltung bekannt gegeben.				
Dauer	1 Semester				
Häufigkeit des Angebots	jährlich				
Literatur	C. C. Gerry und P. L. Knight, Introductory Quantum Optics, University Press, Cambridge (2005); H.-A. Bachor und T. C. Ralph, A guide to experiments in quantum optics, Wiley, 2nd edition (2003).				

Modultitel	New Experiments with XFEL Sources
Modulnummer/-kürzel	PHY-MV-LP-E29
Semester	Sommersemester
Verwendbarkeit, Modultyp und Zuordnung zum Curriculum	<ul style="list-style-type: none"> • Physik (M.Sc.): Wahlpflichtmodul • Physics (M.Sc.): Wahlpflichtmodul
Voraussetzungen für die Teilnahme	Verbindlich: keine Empfohlen: keine
Modulverantwortliche/r	Prof. Dr. Christian Bressler; Prof. Dr. Michael Rübhausen
Lehrende	Mitglieder des Lehrkörpers aus dem Fachbereich Physik
Sprache	Englisch
Qualifikationsziele	<p>Die Studierenden verstehen die FEL Erzeugung im Detail verstehen, können XFEL Experimente präsentieren und sind mit den verschiedenen Messtechniken vertraut. Publikationen werden so besser verstanden und eigene Ideen zur Durchführung von XFEL Experimenten können entwickeln werden.</p> <p><i>After this course, students will be able to understand the details of FEL generation, XFEL experiments and will be acquainted with the different measurement techniques. They can follow contemporary publications in the field and are able to prepare own ideas for future XFEL experiments.</i></p>
Inhalt	Wesentliche aktuelle wissenschaftliche Entwicklungen auf den Gebieten der Spektroskopie und Streuung mit intensiver Röntgenstrahlung, inklusive Atomphysik, Femtosekunden Molekülphysik, Plasmaphysik. Auch werden experimentelle Hilfsmittel wie Röntgenlinsen, Femtosekunden-Zeitbestimmung zwischen 2 unabhängigen Lichtquellen, Röntgenemissionsspektrometer, Detektoren vorgestellt.

	<i>Major recent scientific developments in the fields of spectroscopy and scattering with intense X-rays, inclusive atomic physics, femtosecond molecular physics, plasma physics. Also presented are experimental tools such as X-ray lenses, femtosecond timing between 2 independent light sources, X-ray emissivity spectrometers, detectors.</i>				
Lehrveranstaltungen und Lehrformen	<ul style="list-style-type: none"> • New Experiments with XFEL Sources (V) • Exercises in New Experiments with XFEL Sources (Ü) 			2 SWS	1 SWS
Arbeitsaufwand (Teilleistungen und insgesamt)		LP	P (Std)	S (Std)	PV (Std)
	<ul style="list-style-type: none"> • Vorlesung • Übung 	3	28	32	30
	Gesamtaufwand	1	14	16	-
		4	42	48	30
Studien-/Prüfungsleistungen	Prüfungsart: Klausur oder mündliche Prüfung <i>written or oral examination</i> Sprache der Prüfung: Englisch Abweichungen werden zu Beginn der Veranstaltung bekannt gegeben.				
Dauer	1 Semester				
Häufigkeit des Angebots	jährlich				
Literatur	Wird in der Veranstaltung bekannt gegeben.				

Modultitel	Seminar: Many-body Theory of Ultracold Atoms and Solid State Systems
Modulnummer/-kürzel	PHY-MV-LP-T02
Semester	Wintersemester/ Sommersemester
Verwendbarkeit, Modultyp und Zuordnung zum Curriculum	<ul style="list-style-type: none"> • Physik (M.Sc.): Wahlpflichtmodul • Physics (M.Sc.): Wahlpflichtmodul
Voraussetzungen für die Teilnahme	Verbindlich: keine Empfohlen: keine
Modulverantwortliche/r	Prof. Dr. Ludwig Mathey
Lehrende	Prof. Dr. Ludwig Mathey
Sprache	Englisch
Qualifikationsziele	Die Teilnehmer erarbeiten ein ausgewähltes Thema der modernen Atomphysik, Festkörperphysik oder Quantenoptik, und erwerben dadurch inhaltliche Expertise zu dem Thema, als auch die Kompetenz, Fachvorträge zu halten. <i>The participants work on a topic from modern atomic physics, solid state or quantum optics, and develop the expertise of this topic, as well as the competence of giving presentations.</i>
Inhalt	Erarbeitung und Diskussion eines aktuellen Forschungsthemas. Dies beinhaltet sowohl konzeptionelle Fragen der theoretischen Physik,

	insbesondere der Atomphysik, Festkörperphysik oder Quantenoptik, als auch angewandte Fragen, zum Beispiel aus der Quantentechnologie <i>Development and discussion of a current research topic. This includes both conceptual questions of theoretical physics, in particular in atomic physics, solid state or quantum optics, as well as applied questions, such as from the field of quantum technology.</i>				
Lehrveranstaltungen und Lehrformen	<ul style="list-style-type: none"> Seminar: Many-body Theory of Ultracold Atoms and Solid State Systems (S) 				2 SWS
Arbeitsaufwand (Teilleistungen und insgesamt)		LP	P (Std)	S (Std)	PV (Std)
	<ul style="list-style-type: none"> Seminar 	3	28	32	30
	Gesamtaufwand	3	28	32	30
Studien-/Prüfungsleistungen	Prüfungsart: Referat mit schriftlicher Ausarbeitung Sprache der Prüfung: Englisch Abweichungen werden zu Beginn der Veranstaltung bekannt gegeben.				
Dauer	1 Semester				
Häufigkeit des Angebots	jedes Semester				
Literatur	Wird in der Veranstaltung bekannt gegeben.				

Modultitel	Theory of Photon-Matter Interactions
Modulnummer/-kürzel	PHY-MV-LP-T03
Semester	Wintersemester
Verwendbarkeit, Modultyp und Zuordnung zum Curriculum	<ul style="list-style-type: none"> Nanowissenschaften (M.Sc.): Wahlpflichtmodul Physik (M.Sc.): Wahlpflichtmodul Physics (M.Sc.): Wahlpflichtmodul
Voraussetzungen für die Teilnahme	Verbindlich: keine Empfohlen: Theoretische Physik I-III
Modulverantwortliche/r	Prof. Dr. Robin Santra
Lehrende	Prof. Dr. Robin Santra, Prof. Dr. Nina Rohringer
Sprache	Englisch
Qualifikationsziele	<p>Die Studierenden können für praktisch relevante Situationen der Licht-Materie-Wechselwirkung eine präzise quantenmechanische Beschreibung entwickeln. Sie haben ein konzeptionelles und quantitatives Verständnis von Experimenten erreicht, in denen das Verhalten von Elektronen im elektromagnetischen Feld im Vordergrund steht. Dies schließt im Allgemeinen sowohl Experimente mit optischen Lasern als auch mit Röntgenquellen ein.</p> <p><i>Students will be able to develop a precise quantum mechanical description for practically relevant situations of light-matter interaction. They have achieved a conceptual and quantitative understanding of experiments that focus on the</i></p>

	<i>behavior of electrons in the electromagnetic field. This generally includes experiments with optical lasers as well as with X-ray sources.</i>				
Inhalt	<ol style="list-style-type: none"> 1. Kanonischer Formalismus 2. Quantentheorie des freien elektromagnetischen Feldes 3. Quantentheorie von Vielelektronensystemen 4. Wechselwirkung zwischen dem Photonenfeld und dem Elektronenfeld 5. Semiklassische Theorie 6. Anwendungen <ol style="list-style-type: none"> 1. <i>canonical formalism</i> 2. <i>quantum theory of the free electromagnetic field</i> 3. <i>quantum theory of many-electron systems</i> 4. <i>interaction between the photon field and the electron field</i> 5. <i>semiclassical theory</i> 6. <i>applications</i> 				
Lehrveranstaltungen und Lehrformen	<ul style="list-style-type: none"> • Theory of Photon-Matter Interactions (V) • Exercises in Theory of Photon-Matter Interactions (Ü) 				4 SWS 2 SWS
Arbeitsaufwand (Teilleistungen und insgesamt)	<ul style="list-style-type: none"> • Vorlesung • Übung 	LP 6 2	P (Std) 56 28	S (Std) 62 32	PV (Std) 62 -
	Gesamtaufwand	8	84	94	62
Studien-/Prüfungsleistungen	Prüfungsart: Klausur (60%) und schriftliche Ausarbeitung (40%) Sprache der Prüfung: Englisch Abweichungen werden zu Beginn der Veranstaltung bekannt gegeben.				
Dauer	1 Semester				
Häufigkeit des Angebots	zweijährlich				
Literatur	<ul style="list-style-type: none"> • Molecular Quantum Electrodynamics, by D. P. Craig and T. Thirunamachandran, Dover • Quantum Theory of Light, by R. Loudon, Oxford University Press • Modern Quantum Chemistry, by A. Szabo and N. S. Ostlund, Dover • Quantum Theory of Many-Particle Systems, by A. L. Fetter and J. D. Walecka, Dover • Atomic Structure Theory, by W. R. Johnson, Springer • In addition, a script will be provided. 				