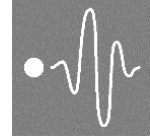




Universität Hamburg
DER FORSCHUNG | DER LEHRE | DER BILDUNG

Fachbereich Physik



**Modulhandbuch zu den Masterstudiengängen
Physik (M.Sc.) und Physics (M.Sc.)
der Universität Hamburg**

Stand 04/2026 gültig ab WS 26/27

Pflichtmodule (Compulsory modules)	7
Introductory Project / Einarbeitungsprojekt.....	7
Preparatory Project / Vorbereitungsprojekt.....	8
Master's Thesis / Masterarbeit	9
Vertiefungsmodule (Advanced Master's Modules)	10
Chemical Evolution of the Universe	10
Cosmology	11
Extragalactic Astrophysics	12
Galactic Astrophysics.....	14
Galaxy Evolution.....	15
Astrophysical Gasdynamics	16
Computational Astrophysics	17
Introduction to General Relativity and Astrophysical Applications.....	18
MHD Simulations with the FLASH Code	20
Stellar and Planetary Atmospheres.....	21
Stellar Structure and Evolution	22
The Interstellar Medium and Star Formation	23
Theory and application of PHOENIX.....	25
Accelerator Physics I.....	26
Accelerator Physics II.....	28
Advanced Particle Physics	29
Excursion to European Accelerator Labs.....	31
Experimental Astroparticle Physics.....	32
Experiments on Physics beyond the Standard Model	33
Instrumentation and Analysis Methods	35
Particle Physics and the Large Hadron Collider (LHC): Accelerators, Detectors and Physics	37
Physics and Applications of Laser-Plasma Accelerators: from Free-Electron Lasers to Medical Imaging	38
Computer Algebra and Particle Physics	39
Group Theory for Physicists	41
Introduction to Conformal Field Theory	42
Introduction to String Theory.....	43

Introduction to Supersymmetry and Supergravity	44
Phenomenology of Physics beyond the Standard Model	45
Physics of the Standard Model	47
Quantum Field Theory I.....	48
Quantum Field Theory II.....	49
Quantum Chromodynamics (Advanced Topics in Particle Physics)	50
Renormalisation of Spontaneously Broken Gauge Theories and Related Phenomenological Aspects	52
Theoretical Astroparticle Physics and Cosmology	53
Theory of General Relativity	55
Introduction to the Physics of Medical Imaging (Biomedical Physics I).....	56
Introduction to Cellular Biophysics (Biomedical Physics II)	57
Physics of Radiation Therapy I (Biomedical Physics III).....	59
Physics of Radiation Therapy II (Biomedical Physics IV)	60
Artificial Intelligence for Biomedical Imaging	62
Physics of Biomedical X-ray Fluorescence Imaging.....	63
Programming Course for Biomedical Physics	65
Advanced Methods for Surface and Nanostructure Characterization	66
Advanced Solid-State Physics.....	68
Application of Synchrotron Radiation in Nanoscience	70
Complex Materials	71
Fundamentals of Photovoltaics.....	73
Methods in Nanobiotechnology I.....	74
Methods in Nanobiotechnology II.....	75
Modern Molecular Physics.....	76
Modern Molecular Physics – Clusterphysics.....	78
Nanostructure Physics I.....	79
Nanostructure Physics II: Surface Science and Magnetism	80
Nanostructure Physics III: Nano-Bio-Interfaces	82
Nanostructure Physics IV - Nanobiotechnology and Energy Materials	84
Computational Many-Body Theory.....	87
Condensed-Matter Theory.....	88

Condensed-Matter Theory: Special Topics	89
Nonequilibrium Quantum Statistics and Transport Theory.....	91
Quantum Statistics with Path Integrals.....	92
Symmetry Groups in Physics	94
Experimental Quantum Information Processing	95
Gravitational-Wave Detection	97
Light Fields and Quantum Correlations	98
Quantum Simulation with Neutral Atoms	100
Ultrakalte Quantengase	101
Quantum Technology I	103
Quantum Technology II	104
Quantum Computing and Information	105
Quantum Computing and Information II	109
Fundamental Concepts of Optics: From Optical Light to X-rays.....	111
Light-Matter-Interactions: Atoms, Molecules & (Non) Linear Optics.....	113
Methods of Modern X-ray Physics - Spectroscopy	114
New Experiments with XFEL Sources	116
Nonlinear Optics.....	117
Science and Technology at the European XFEL	119
Ultrafast Optical Physics.....	120
Ultrafast Sources	121
X-ray and Ultrafast Photon Science	122
X-ray Atto-Chirality.....	124
Theory of Photon-Matter Interactions	125

Die nachfolgenden, detaillierten Modulbeschreibungen sind wie folgt strukturiert:

Modultitel:	Titel des Moduls.			
Modulnummer/-kürzel:	Kürzel zur Identifikation des Moduls.			
Verwendbarkeit, Modultyp und Zuordnung zum Curriculum (Applicability, module type and allocation to the curriculum)	- Zusammenhang mit anderen Modulen des Studiengangs sowie Verwendbarkeit für andere Studiengänge - Schwerpunkte in Physik (M.Sc.) und Physics (M.Sc.): AA: Astronomie und Astrophysik (Astronomy and Astrophysics) AP: Beschleuniger- und Teilchenphysik (Accelerator and Particle Physics) BP: Biomedizinische Physik (Biomedical Physics) FN: Festkörper- und Nanostrukturphysik (Solid State and Nanostructure Physics) QP: Quantencomputing, Information und Technologie (Quantum Science, Computing and Technology) XU: Röntgen- und Ultrakurzzeitphysik (X-ray and Ultrafast Photon Science) TP: Theoretische Physik (Theoretical Physics)			
Voraussetzungen für die Teilnahme: (Prerequisites for participation)	Voraussetzungen für die Teilnahme an dem Modul in den Unterkategorien „Verbindliche Voraussetzungen“ (andere Module, die vor Modul-Beginn erfolgreich absolviert sein müssen, d.h. deren Prüfung bestanden wurde) und „Empfohlene Voraussetzungen“ (vorausgesetzte Inhalte, die vor einer Teilnahme jedoch nicht nachgewiesen werden müssen).			
Modulverantwortliche(r)				
Lehrende:	Mitglieder des Lehrkörpers aus dem Fachbereich Physik			
Sprache:	Sprache (Deutsch oder Englisch), in der alle bzw. einzelne Lehrveranstaltungen des Moduls durchgeführt werden.			
Qualifikationsziele: (Learning outcomes)	Leitfrage: Welche Lernergebnisse sollen Studierende nach erfolgreichem Abschluss des Moduls erreicht haben? z. B. im Sinne von: - Lernergebnisse, die Wissen oder Anwenden nachweisen: z.B. definieren/darstellen/ messen/ berichten/ bewerten von Information, Theorie- und/oder Faktenwissen - Lernergebnisse, die praktische Fertigkeiten, bei denen Kenntnisse (Wissen) eingesetzt werden, nachweisen: z.B. ausführen, demonstrieren etc. Bsp.: „Nach erfolgreichem Absolvieren des Moduls können die Studierenden spezialisierte Techniken auswählen und einsetzen/Richtlinien modifizieren/die wesentlichen Beiträge von xy auf dem Gebiet xy zusammenfassen/ etc.“			
Inhalt: (Content)	Der (Lehr)inhalt sollte die Ziele des Moduls benennen. (Welche fachlichen, methodischen, fachpraktischen und fächerübergreifenden Inhalte sollen vermittelt werden, damit die Modulziele erreicht werden?)			
Lehrveranstaltungen und Lehrformen:	Im Modul enthaltene, einzelne Lehrveranstaltungen, zugehörige Lehrformen/Veranstaltungsarten (z.B. V: Vorlesung, Ü: Übungen, P: Praktikum, S: (Pro)Seminar), jeweils mit Angabe des Umfangs in Semesterwochenstunden (SWS).			SWS
Arbeitsaufwand* (Teilleistungen und insgesamt) (Workload)	Arbeitsaufwand in Leistungspunkten für die Einzelveranstaltungen.	LP	P (Std)	S (Std)
	Gesamtaufwand			PV (Std)

Studien- /Prüfungsleistungen (Examination)	Voraussetzungen zur Anmeldung zur Modulprüfung: Art der Prüfung/Modulprüfung (ggf. Teilprüfungen): Abweichungen werden zu Beginn der Veranstaltungen bekannt gegeben.
Dauer	Dauer des Moduls (z.B. 1 oder 2 Semester).
Häufigkeit des Angebots	Angebotsturnus und in welchem Semester.
Literatur:	

Lehrformen: (V) = Vorlesung, (Ü) = Übungen, (S) = Seminar, (P) = Praktikum, (Pr) = Projekt

Allgemein: SWS= Semesterwochenstunden, LP = Leistungspunkt(e)

Arbeitsaufwand: P (Std)=Präsenzstudium; S (Std)= Selbststudium; PV (Std)= Prüfungsvorbereitung

Teaching formats: (L) = lecture, (E) = Tutorial, (S) = Seminar, (P) = Practica/Lab, (Pr) = Project

General: SWS = weekly contact hours per semester, LP = Credit(s)

Workload: P (hrs) = Contact hours; S (hrs) = Self-study; PV (hrs) = Exam preparation

Pflichtmodule (Compulsory modules)

Modultitel	Introductory Project / Einarbeitungsprojekt				
Modulnummer/-kürzel	PHY-MF-AA/AP/BP/FN/QP/XU/TP-EP				
Verwendbarkeit, Modultyp und Zuordnung zum Curriculum	- 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	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. Die oder der Studierende erlernt das selbstständige Sammeln nötiger Informationen, von Hintergrundwissen und die Einarbeitung in ein Spezialthema. 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. <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> <i>The student learns how to independently collect the necessary information, background knowledge and familiarisation with a special topic.</i> <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>				
Inhalt	- Einarbeitung in das Themengebiet; - Einarbeitung in die theoretischen und/oder experimentellen Arbeitstechniken und Hilfsmittel; - Bearbeitung von Teilaspekten; - Formulierung eines Arbeits- und Zeitplans. - <i>Familiarisation with the subject area;</i> - <i>Familiarisation with theoretical and/or experimental working techniques and tools;</i> - <i>Working on partial aspects;</i> - <i>Formulation of a work plan and time schedule.</i>				
Lehrveranstaltungen und Lehrformen	Selbstständige wissenschaftliche Arbeit unter Anleitung				15 SWS
Arbeitsaufwand (Teilleistungen und insgesamt)	Selbstständige wissenschaftliche Arbeit unter Anleitung	LP	P (Std)	S (Std)	PV (Std)
	Gesamtaufwand	15	-	390	60
Studien-/Prüfungsleistungen	Prüfungsart: Projektabschluss (unbenotet) <i>project completion</i> Sprache der Prüfung: Deutsch oder Englisch				
Dauer	1 Semester				
Häufigkeit des Angebots	jedes Semester				
Literatur	Wird in der Veranstaltung bekannt gegeben.				

Modultitel	Preparatory Project / Vorbereitungsprojekt
Modulnummer/-kürzel	PHY-MF-AA/AP/BP/FN/QP/XU/TP-VP
Verwendbarkeit, Modultyp und Zuordnung zum Curriculum	• Physik (M.Sc.): Pflichtmodul • Physics (M.Sc.): Pflichtmodul
Voraussetzungen für die Teilnahme	Verbindlich: Erfolgreiches Absolvieren des Moduls Einarbeitungsprojekt / 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	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. 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. <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 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> <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> <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>
Inhalt	Einführung in das wissenschaftliche Arbeiten und die fachlichen und methodischen Grundlagen für die Masterarbeit sowie Planung des in der Masterarbeit zu bearbeitenden Forschungsprojekts. Erwerb der notwendigen experimentellen bzw. theoretisch-mathematischen Fähigkeiten, die Voraussetzung für die erfolgreiche Absolvierung der Forschungsaufgabe der sich anschließenden Masterarbeit sind. Im Arbeitsgruppenseminar werden verschiedene Themen des Arbeitsgebietes der Arbeitsgruppe vorgetragen und diskutiert. 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. <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>

	<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> <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> <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>				
Lehrveranstaltungen und Lehrformen	Selbstständige wissenschaftliche Arbeit unter Anleitung				15 SWS
Arbeitsaufwand (Teilleistungen und insgesamt)	Selbstständige wissenschaftliche Arbeit unter Anleitung	LP 15	P (Std) -	S (Std) 390	PV (Std) 60
	Gesamtaufwand	15	-	390	60
Studien-/Prüfungsleistungen	Voraussetzung zur Modulprüfung: Projektabschluss <i>project completion</i> Art der Modulprüfung: Kolloquium (unbenotet) Sprache der Prüfung: Deutsch oder Englisch				
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
Verwendbarkeit, Modultyp und Zuordnung zum Curriculum	- Physik (M.Sc.): Pflichtmodul - Physics (M.Sc.): Pflichtmodul
Voraussetzungen für die Teilnahme	Verbindlich: Erfolgreiches Absolvieren des Moduls Vorbereitungsprojekt 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	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. <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>
Inhalt	Die Masterarbeit bildet den Abschluss des Masterstudiums. Die Masterarbeit besteht aus - 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. Die Ergebnisse sollen in der Regel zu einer wissenschaftlichen Publikation beitragen. <i>The master's thesis forms the conclusion of the master's programme.</i> <i>The Master's thesis consists of</i> <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> <i>The results should contribute to a scientific publication.</i>				
Lehrveranstaltungen und Lehrformen	Selbstständige wissenschaftliche Arbeit im Team				30 SWS
Arbeitsaufwand (Teilleistungen und insgesamt)	Selbstständige wissenschaftliche Arbeit im Team	LP 30	P (Std) -	S (Std) 830	PV (Std) 70
	Gesamtaufwand	30	-	830	70
Studien-/Prüfungsleistungen	Prüfungsart: schriftliche Masterarbeit und Kolloquium. Das Kolloquium geht zu 1/6 in die Note des Abschlussmoduls ein. (benotet) Sprache der Prüfung: Deutsch oder Englisch				
Dauer	900 Stunden Arbeitsaufwand innerhalb von 6 Monaten.				
Häufigkeit des Angebots	jedes Semester				
Literatur	Wird in der Veranstaltung bekannt gegeben.				

Vertiefungsmodule (Advanced Master's Modules)

Modultitel:	Chemical Evolution of the Universe
Modulnummer/-kürzel:	PHY-MV-E102
Verwendbarkeit, Modultyp und Zuordnung zum Curriculum	Physik (M.Sc.): Wahlpflichtmodul (AA) Physics (M.Sc.): Wahlpflichtmodul (AA)
Voraussetzungen für die Teilnahme:	<u>Verbindlich:</u> Keine <u>Empfohlen:</u> Einführung in die Astronomie I und II (BSc)
Modulverantwortliche(r):	Prof. Dr. Jochen Liske
Lehrende:	Mitglieder des Lehrkörpers aus dem Fachbereich Physik
Sprache:	Englisch
Qualifikationsziele:	Nach erfolgreichem Abschluss des Moduls sind die Studierenden in der Lage, die wichtigsten astrophysikalischen Prozesse zu beschreiben, die die chemische

	Entwicklung des Universums bestimmen. Sie können die Entstehung der chemischen Elemente von der primordialen Nukleosynthese bis zur galaktischen und kosmischen chemischen Evolution erläutern und die Beiträge von Sternentwicklung, Supernovae und Neutroneneinfangsprozessen quantitativ und konzeptionell einordnen. Darüber hinaus sind sie befähigt, Beobachtungsdaten und theoretische Modelle zur chemischen Entwicklung kritisch zu analysieren. <i>After successful completion of the module, students will be able to describe the key astrophysical processes governing the chemical evolution of the Universe. They can explain the origin of chemical elements from primordial nucleosynthesis to galactic and cosmic chemical evolution and assess the roles of stellar evolution, supernovae, and neutron capture processes in a quantitative and conceptual way. Furthermore, they will be able to critically analyze observational data and theoretical models related to chemical evolution.</i>				
Inhalt:	Kosmologischer Hintergrund, primordiale Nukleosynthese, Strukturbildung, Grundlagen der Sternentwicklung und Nukleosynthese, Neutroneneinfangsprozesse, galaktische chemische Entwicklung, kosmische chemische Entwicklung. <i>Cosmological background, primordial nucleosynthesis, structure formation, basics of stellar evolution and nucleosynthesis, neutron capture processes, galactic chemical evolution, cosmic chemical evolution.</i>				
Lehrveranstaltungen und Lehrformen:	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)
	Chemical Evolution of the Universe (V):	3	28	32	30
	Exercises in Chemical Evolution of the Universe (Ü):	2	28	32	0
	Gesamtaufwand	5	56	64	30
Studien- /Prüfungsleistungen	Voraussetzungen: Keine Prüfungsart: Klausur oder mündliche Prüfung (benotet) Prüfungssprache: Englisch Abweichungen werden zu Beginn der Veranstaltung bekannt gegeben.				
Dauer	Ein Semester				
Häufigkeit des Angebots	i. d. R. alle zwei Jahre im Sommersemester				
Literatur:	Nucleosynthesis and Chemical Evolution of Galaxies, Pagel, Cambridge University Press				

Modultitel:	Cosmology
Modulnummer/-kürzel:	PHY-MV-E103
Verwendbarkeit, Modultyp und Zuordnung zum Curriculum	Physik (M.Sc.): Wahlpflichtmodul (AA, AP) Physics (M.Sc.): Wahlpflichtmodul (AA, AP)

Voraussetzungen für die Teilnahme:	<u>Verbindlich:</u> Keine <u>Empfohlen:</u> Einführung in die Astronomie I und II (B.Sc.)				
Modulverantwortliche(r):	Prof. Dr. Markus Brüggen				
Lehrende:	Mitglieder des Lehrkörpers aus dem Fachbereich Physik				
Sprache:	Englisch				
Qualifikationsziele:	Nach erfolgreichem Abschluss des Moduls können die Studierenden zentrale Konzepte der modernen Kosmologie erläutern, theoretische Modelle und beobachtungsbasierte Ergebnisse analysieren sowie mathematische und numerische Methoden zur Lösung kosmologischer Problemstellungen anwenden. <i>After successful completion of the module, students are able to explain core concepts of modern cosmology, analyze theoretical models and observational results, and apply mathematical and numerical methods to solve cosmological problems.</i>				
Inhalt:	- Grundlagen der theoretischen Kosmologie - Beobachtende Kosmologie und astronomische Messtechniken - Kosmologische Modelle und großskalige Strukturen des Universums - Kosmische Expansion und das Standardmodell der Kosmologie - Kosmische Hintergrundstrahlung und Physik des frühen Universums - <i>Foundations of theoretical cosmology</i> - <i>Observational cosmology and astronomical measurement techniques</i> - <i>Cosmological models and large-scale structure of the universe</i> - <i>Cosmic expansion and the standard cosmological model</i> - <i>Cosmic microwave background and early universe physics</i>				
Lehrveranstaltungen und Lehrformen:	Cosmology (V): Exercises in Cosmology (Ü):				3 SWS 1 SWS
Arbeitsaufwand* (Teilleistungen und insgesamt)		LP	P (Std)	S (Std)	PV (Std)
	Cosmology (V):	5	42	54	54
	Exercises in Cosmology (Ü):	1	14	16	0
	Gesamtaufwand	6	56	70	54
Studien- /Prüfungsleistungen	Voraussetzungen: Keine Prüfungsart: Klausur oder mündliche Prüfung (benotet) Prüfungssprache: Englisch Abweichungen werden zu Beginn der Veranstaltung bekannt gegeben.				
Dauer	Ein Semester				
Häufigkeit des Angebots	Wintersemester (unregelmäßig)				
Literatur:	Wird in der Veranstaltung bekannt gegeben.				

Modultitel:	Extragalactic Astrophysics
Modulnummer/-kürzel:	PHY-MV-E104

Verwendbarkeit, Modultyp und Zuordnung zum Curriculum	Physik (M.Sc.): Wahlpflichtmodul (AA) Physics (M.Sc.): Wahlpflichtmodul (AA)				
Voraussetzungen für die Teilnahme:	<u>Verbindlich:</u> Keine <u>Empfohlen:</u> Einführung in die Astronomie I und II (BSc)				
Modulverantwortliche(r):	Prof. Dr. Markus Brüggen				
Lehrende:	Mitglieder des Lehrkörpers aus dem Fachbereich Physik				
Sprache:	Englisch				
Qualifikationsziele:	Nach erfolgreichem Abschluss des Moduls können die Studierenden zentrale Konzepte der extragalaktischen Astrophysik erläutern, Beobachtungsdaten von Galaxien und großräumigen Strukturen analysieren, theoretische Modelle zur Galaxienentstehung und -entwicklung bewerten sowie mathematische und numerische Methoden zur Lösung astrophysikalischer Fragestellungen anwenden. <i>After successful completion of the module, students are able to explain key concepts of extragalactic astrophysics, analyze observational data of galaxies and large-scale structures, evaluate theoretical models of galaxy formation and evolution, and apply mathematical and numerical methods to astrophysical problems.</i>				
Inhalt:	- Grundlagen der extragalaktischen Astronomie - Struktur und Komponenten des Milchstraßensystems - Großräumige Struktur des Universums - Galaxienentstehung und -entwicklung - Eigenschaften und Dynamik von Galaxienhaufen - Beobachtungsmethoden der extragalaktischen Astronomie - <i>Fundamentals of extragalactic astronomy</i> - <i>Structure and components of the Milky Way system</i> - <i>Large-scale structure of the universe</i> - <i>Galaxy formation and evolution</i> - <i>Properties and dynamics of galaxy clusters</i> - <i>Observational methods in extragalactic astronomy</i>				
Lehrveranstaltungen und Lehrformen:	Extragalactic Astrophysics (V): Exercises in Extragalactic Astrophysics (Ü):				3 SWS 1 SWS
Arbeitsaufwand* (Teilleistungen und insgesamt)		LP	P (Std)	S (Std)	PV (Std)
	Extragalactic Astrophysics (V):	5	42	54	54
	Exercises in Extragalactic Astrophysics (Ü):	1	14	16	0
	Gesamtaufwand	6	56	70	54
Studien- / Prüfungsleistungen	Voraussetzungen: Keine Prüfungsart: Klausur oder mündliche Prüfung (benotet) Prüfungssprache: Englisch Abweichungen werden zu Beginn der Veranstaltung bekannt gegeben.				
Dauer	Ein Semester				
Häufigkeit des Angebots	Wintersemester (unregelmäßig)				

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

Modultitel:	Galactic Astrophysics				
Modulnummer/-kürzel:	PHY-MV-E105				
Verwendbarkeit, Modultyp und Zuordnung zum Curriculum	Physik (M.Sc.): Wahlpflichtmodul (AA) Physics (M.Sc.): Wahlpflichtmodul (AA)				
Voraussetzungen für die Teilnahme:	<u>Verbindlich:</u> Keine <u>Empfohlen:</u> Einführung in die Astronomie I und II (BSc)				
Modulverantwortliche(r):	Prof. Dr. Thomas Kupfer				
Lehrende:	Mitglieder des Lehrkörpers aus dem Fachbereich Physik				
Sprache:	Englisch				
Qualifikationsziele:	Nach erfolgreichem Abschluss des Moduls sind die Studierenden in der Lage, die Struktur, Dynamik und Entwicklung der Milchstraße systematisch zu beschreiben. Sie können die wichtigsten galaktischen Komponenten und Objekttypen einordnen und deren physikalische Eigenschaften erklären. Zudem sind sie in der Lage, analytische Methoden auf ausgewählte Problemstellungen der galaktischen Astrophysik anzuwenden und Beobachtungsdaten konzeptionell zu interpretieren. <i>After successful completion of the module, students will be able to systematically describe the structure, dynamics, and evolution of the Milky Way. They can classify the main galactic components and object types and explain their physical properties. Furthermore, they are able to apply analytical methods to selected problems in galactic astrophysics and conceptually interpret observational data.</i>				
Inhalt:	Grundlagenwissen der galaktischen Astronomie in Theorie und Beobachtung; die Milchstraße und ihre Komponenten; Strukturen der Milchstraße; Objekte in der Milchstraße und Evolution der Milchstraße. <i>Basic knowledge of galactic astronomy in theory and observation; Milky Way and its components; Structure of the Milky Way; Objects in the Milky Way and Evolution of the Milky Way.</i>				
Lehrveranstaltungen und Lehrformen:	Galactic Astrophysics (V): Exercises in Galactic Astrophysics (Ü):				3 SWS 1 SWS
Arbeitsaufwand* (Teilleistungen und insgesamt)		LP	P (Std)	S (Std)	PV (Std)
	Galactic Astrophysics (V):	5	42	54	54
	Exercises in Galactic Astrophysics (Ü):	1	14	16	0
	Gesamtaufwand	6	56	70	54
Studien-/Prüfungsleistungen	Voraussetzungen: Keine Prüfungsart: Klausur oder mündliche Prüfung (benotet) Prüfungssprache: Englisch Abweichungen werden zu Beginn der Veranstaltung bekannt gegeben.				

Dauer	Ein Semester
Häufigkeit des Angebots	Jährlich im Sommersemester

Modultitel:	Galaxy Evolution				
Modulnummer/-kürzel:	PHY-MV-E106				
Verwendbarkeit, Modultyp und Zuordnung zum Curriculum	Physik (M.Sc.): Wahlpflichtmodul (AA) Physics (M.Sc.): Wahlpflichtmodul (AA)				
Voraussetzungen für die Teilnahme:	<u>Verbindlich:</u> Keine <u>Empfohlen:</u> Einführung in die Astronomie & Astrophysik I & II (BSc)				
Modulverantwortliche(r):	Prof. Dr. Jochen Liske				
Lehrende:	Mitglieder des Lehrkörpers aus dem Fachbereich Physik				
Sprache:	Englisch				
Qualifikationsziele:	Nach erfolgreichem Abschluss des Moduls kennen die Studierenden 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. <i>After successful completion of the module, 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>				
Inhalt:	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 <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>				
Lehrveranstaltungen und Lehrformen:	Galaxy Evolution (V): Exercises in Galaxy Evolution (Ü):				2 SWS 2 SWS
Arbeitsaufwand* (Teilleistungen und insgesamt)		LP	P (Std)	S (Std)	PV (Std)
	Galaxy Evolution (V):	3	28	32	30
	Exercises in Galaxy Evolution (Ü):	2	28	32	0
	Gesamtaufwand	5	56	64	30
Studien-/Prüfungsleistungen	Voraussetzungen: Keine Prüfungsart: Klausur oder mündliche Prüfung (benotet) Prüfungssprache: Englisch Abweichungen werden zu Beginn der Veranstaltung bekannt gegeben.				

Dauer	Ein Semester
Häufigkeit des Angebots	i. d. R. alle zwei Jahre im Sommersemester
Literatur:	Galaxy Formation and Evolution, Mo, van den Bosch and White, Cambridge University Press.

Modultitel:	Astrophysical Gasdynamics				
Modulnummer/-kürzel:	PHY-MV-T101				
Verwendbarkeit, Modultyp und Zuordnung zum Curriculum	Physik (M.Sc.): Wahlpflichtmodul (AA) Physics (M.Sc.): Wahlpflichtmodul (AA)				
Voraussetzungen für die Teilnahme:	<u>Verbindlich:</u> Theoretische Physik I - III (B.Sc.) <u>Empfohlen:</u> General Relativity				
Modulverantwortliche(r):	Prof. Dr. Stephan Rosswog				
Lehrende:	Mitglieder des Lehrkörpers aus dem Fachbereich Physik				
Sprache:	Englisch				
Qualifikationsziele:	Nach erfolgreichem Abschluss des Moduls haben die Studierenden ein gutes qualitatives Verständnis von gasdynamischen Phänomenen und sie sind in der Lage, grundlegende Konzepte der Strömungsmechanik zu erklären und anzuwenden. Sie können die grundlegenden hydrodynamischen Gleichungen formulieren, mathematisch analysieren auf typische Problemstellungen innerhalb und ausserhalb der Astrophysik übertragen. <i>After successful completion of the module, students will have obtained a good qualitative understanding of gas dynamical phenomena and they will be able to explain and apply fundamental concepts of gas dynamics and they can formulate and analyze the governing hydrodynamic equations, transfer them to typical problems inside and outside of astrophysics.</i>				
Inhalt:	- Grundlagen der Gasdynamik - Partielle Differentialgleichungen in der Strömungsdynamik - Strömungsphänomene im Alltag - Astrophysikalische Anwendungen der Strömungsdynamik - <i>Fundamentals of gas dynamics</i> - <i>Partial differential equations in fluid dynamics</i> - <i>Fluid phenomena in everyday life</i> - <i>Astrophysical applications of fluid dynamics</i>				
Lehrveranstaltungen und Lehrformen:	Astrophysical Gasdynamics (V): Exercises in Astrophysical Gasdynamics (Ü):				3 SWS 1 SWS
Arbeitsaufwand* (Teilleistungen und insgesamt)		LP	P (Std)	S (Std)	PV (Std)
	Astrophysical Gasdynamics (V): Exercises in Astrophysical Gasdynamics (Ü):	5 1	42 14	54 16	54 0

	Gesamtaufwand	6	56	70	54
Studien-/Prüfungsleistungen	Voraussetzungen: Keine Prüfungsart: Klausur oder mündliche Prüfung (70%) sowie Übungsabschluss 30% (benotet) Prüfungssprache: Englisch Abweichungen werden zu Beginn der Veranstaltung bekannt gegeben.				
Dauer	Ein Semester				
Häufigkeit des Angebots	Jährlich im Wintersemester				
Literatur:	- Lecture Notes, Stephan Rosswog - Astrophysical Fluid Dynamics, Clarke & Carswell, Cambridge University Press, 2007 - Astrophysical Fluid Dynamics, Battaner, Cambridge University Press, 1996 - Fluid Mechanics, Landau & Lifshitz, Butterworth & Heinemann, 2000				

Modultitel:	Computational Astrophysics
Modulnummer/-kürzel:	PHY-MV-T102
Verwendbarkeit, Modultyp und Zuordnung zum Curriculum	Physik (M.Sc.): Wahlpflichtmodul (AA) Physics (M.Sc.): Wahlpflichtmodul (AA)
Voraussetzungen für die Teilnahme:	<u>Verbindlich:</u> Keine <u>Empfohlen:</u> Einführung in die Astronomie I und II (B.Sc.), elementare Programmierkenntnisse
Modulverantwortliche(r):	Prof. Dr. Peter Hauschildt
Lehrende:	Mitglieder des Lehrkörpers aus dem Fachbereich Physik
Sprache:	Englisch oder Deutsch
Qualifikationsziele:	Nach erfolgreichem Abschluss des Moduls können die Studierenden geeignete numerische Methoden für astrophysikalische Problemstellungen auswählen und implementieren, Rechenergebnisse kritisch analysieren sowie rechnergestützte Simulationen effizient einsetzen und bewerten. <i>After successful completion of the module, students are able to select and implement suitable numerical methods for astrophysical problems, critically analyze computational results, and efficiently apply and evaluate simulation-based approaches.</i>
Inhalt:	- Hardware-Grundlagen für wissenschaftliches Rechnen - Parallelisierung und parallele Rechenstrategien - GPU-Computing-Konzepte und Anwendungen - Typische numerische Fehlerquellen und Fehleranalyse - Numerische Methoden zur Lösung nichtlinearer Gleichungen - Numerische Verfahren für lineare Gleichungssysteme - Numerische Lösung von Differentialgleichungen - Monte-Carlo-Simulationsmethoden

	- Fast-Fourier-Transformation (FFT) und Wavelet-Analyse - Datenanpassung und Parameterschätzung - <i>Hardware fundamentals for scientific computing</i> - <i>Parallel computing and parallelisation strategies</i> - <i>GPU computing concepts and applications</i> - <i>Common numerical pitfalls and error analysis</i> - <i>Numerical methods for solving non-linear equations</i> - <i>Numerical techniques for linear equation systems</i> - <i>Numerical solutions of differential equations</i> - <i>Monte Carlo simulation methods</i> - <i>Fast Fourier Transform (FFT) and wavelet analysis</i> - <i>Data fitting and parameter estimation techniques</i>				
Lehrveranstaltungen und Lehrformen:	Computational Astrophysics (V): Exercises in Computational Astrophysics (Ü):				3 SWS 1 SWS
Arbeitsaufwand* (Teilleistungen und insgesamt)		LP	P (Std)	S (Std)	PV (Std)
	Computational Astrophysics (V):	5	42	54	54
	Exercises in Computational Astrophysics (Ü):	1	14	16	0
	Gesamtaufwand	6	56	70	54
Studien- /Prüfungsleistungen	Voraussetzungen: Keine Prüfungsart: Klausur (benotet) Prüfungssprache: Englisch oder Deutsch Abweichungen werden zu Beginn der Veranstaltungen bekannt gegeben.				
Dauer	Ein Semester				
Häufigkeit des Angebots	i. d. R. einmal im Jahr				
Literatur:	Wird in der Veranstaltung bekannt gegeben.				

Modultitel:	Introduction to General Relativity and Astrophysical Applications
Modulnummer/-kürzel:	PHY-MV-T103
Verwendbarkeit, Modultyp und Zuordnung zum Curriculum	Physik (M.Sc.): Wahlpflichtmodul (AA, AP) Physics (M.Sc.): Wahlpflichtmodul (AA, AP)
Voraussetzungen für die Teilnahme:	<u>Verbindlich:</u> Keine <u>Empfohlen:</u> Einführung in die Astrophysik I & II (B.Sc.)
Modulverantwortliche(r):	Prof. Dr. Robi Banerjee
Lehrende:	Mitglieder des Lehrkörpers aus dem Fachbereich Physik
Sprache:	Englisch

Qualifikationsziele:	Nach erfolgreichem Abschluss des Moduls können die Studierenden die grundlegenden Konzepte der Allgemeinen Relativitätstheorie erläutern, gekrümmte Raumzeiten mathematisch beschreiben, geodätische Bewegung und Einsteinsche Feldgleichungen anwenden sowie relativistische Effekte in astrophysikalischen Systemen analysieren. <i>After successful completion of the module, students are able to explain the core concepts of General Relativity, mathematically describe curved space-times, apply geodesic motion and Einstein's field equations, and analyze relativistic effects in astrophysical systems.</i>				
Inhalt:	- Krummlinige Koordinaten und Raumzeitkonzepte - Spezielle Relativitätstheorie und Raumzeitstruktur - Äquivalenzprinzip - Gekrümmte Raumzeit und Geodäten - Tensorrechnung - Einsteinsche Feldgleichungen - Schwarzschild-Geometrie - Schwarze Löcher und Kerr-Schwarze Löcher - Akkretionsscheiben - Gravitationslinsen - Gravitationswellen und Gravitationswellenquellen - Anwendungen in der Kosmologie - <i>Curvilinear coordinates and spacetime concepts</i> - <i>Special Relativity and spacetime structure</i> - <i>Equivalence principle</i> - <i>Curved spacetime and geodesics</i> - <i>Tensor calculus</i> - <i>Einstein field equations</i> - <i>Schwarzschild geometry</i> - <i>Black holes and Kerr black holes</i> - <i>Accretion disks</i> - <i>Gravitational lensing</i> - <i>Gravitational waves and gravitational wave sources</i> - <i>Applications to cosmology</i>				
Lehrveranstaltungen und Lehrformen:	Introduction to General Relativity and Astrophysical Applications (V): Exercises in Introduction to General Relativity and Astrophysical Applications (Ü):			4 SWS 2 SWS	
Arbeitsaufwand* (Teilleistungen und insgesamt)		LP	P (Std)	S (Std)	PV (Std)
	Introduction to General Relativity and Astrophysical Applications (V):	6	56	62	62
	Exercises in Introduction to General Relativity and Astrophysical Applications (Ü):	2	28	32	0
	Gesamtaufwand	8	84	94	62

Studien- /Prüfungsleistungen	Voraussetzungen: Keine Prüfungsart: Klausur (benotet) Prüfungssprache: Englisch Abweichungen werden zu Beginn der Veranstaltung bekannt gegeben.
Dauer	Ein Semester
Häufigkeit des Angebots	Jährlich im Sommersemester
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.

Modultitel:	MHD Simulations with the FLASH Code				
Modulnummer/-kürzel:	PHY-MV-T104				
Verwendbarkeit, Modultyp und Zuordnung zum Curriculum	Physik (M.Sc.): Wahlpflichtmodul (AA) Physics (M.Sc.): Wahlpflichtmodul (AA)				
Voraussetzungen für die Teilnahme:	<u>Verbindlich:</u> Keine <u>Empfohlen:</u> Kenntnisse über numerische Methoden und Magnetohydrodynamik				
Modulverantwortliche(r):	Prof. Dr. Robi Banerjee				
Lehrende:	Mitglieder des Lehrkörpers aus dem Fachbereich Physik				
Sprache:	Englisch				
Qualifikationsziele:	Nach erfolgreichem Abschluss des Moduls können die Studierenden den Simulationscode FLASH zur Lösung magnetohydrodynamischer Problemstellungen einsetzen, astrophysikalische MHD-Simulationen durchführen, numerische Ergebnisse analysieren sowie physikalische Prozesse in MHD-Systemen interpretieren. <i>After successful completion of the module, students are able to use the FLASH simulation code to solve magnetohydrodynamic problems, perform astrophysical MHD simulations, analyze numerical results, and interpret physical processes in MHD systems.</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:	MHD Simulations with the FLASH Code (V):				2 SWS
Arbeitsaufwand*		LP	P (Std)	S (Std)	PV (Std)

(Teilleistungen und insgesamt)	MHD Simulations with the FLASH Code (V):	3	28	32	30
	Gesamtaufwand	3	28	32	30
Studien-/Prüfungsleistungen	Voraussetzungen: erfolgreiche Teilnahme an den Übungen Prüfungsart: Mündliche Prüfung (benotet) Prüfungssprache: Englisch				
Dauer	Ein Semester				
Häufigkeit des Angebots	Jedes Semester				
Literatur:	Wird in der Veranstaltung bekannt gegeben.				

Modultitel:	Stellar and Planetary Atmospheres
Modulnummer/-kürzel:	PHY-MV-T105
Verwendbarkeit, Modultyp und Zuordnung zum Curriculum	Physik (M.Sc.): Wahlpflichtmodul (AA) Physics (M.Sc.): Wahlpflichtmodul (AA)
Voraussetzungen für die Teilnahme:	<u>Verbindlich:</u> Keine <u>Empfohlen:</u> Einführung in die Astrophysik I & II (B.Sc.)
Modulverantwortliche(r):	Prof. Dr. Peter Hauschildt
Lehrende:	Mitglieder des Lehrkörpers aus dem Fachbereich Physik
Sprache:	Englisch oder Deutsch
Qualifikationsziele:	Nach erfolgreichem Abschluss des Moduls können die Studierenden den Aufbau von Stern- und Planetenatmosphären erklären, Strahlungstransportprozesse beschreiben, numerische Atmosphärenmodelle anwenden sowie Spektren analysieren und physikalisch interpretieren. <i>After successful completion of the module, students are able to explain the structure of stellar and planetary atmospheres, describe radiative transfer processes, apply numerical atmosphere models, and analyze and physically interpret spectra.</i>
Inhalt:	- Aufbau und Zusammensetzung von Sternatmosphären - Aufbau und Zusammensetzung von Planetenatmosphären - Grundlagen des Strahlungstransports in astrophysikalischen Atmosphären - Numerische Modellierung von Stern- und Planetenatmosphären - Opazitätsquellen und Spektrallinienbildung - Entstehung von Kontinuums- und Linienspektren - Interpretation und Analyse beobachteter Spektren - <i>Structure and composition of stellar atmospheres</i> - <i>Structure and composition of planetary atmospheres</i> - <i>Fundamentals of radiative transfer in astrophysical atmospheres</i> - <i>Numerical modeling of stellar and planetary atmospheres</i> - <i>Opacity sources and spectral line formation</i>

	- <i>Continuum and line spectra generation</i> - <i>Interpretation and analysis of observed spectra</i>				
Lehrveranstaltungen und Lehrformen:	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)
	Stellar and Planetary Atmospheres (V):	5	42	54	54
	Exercises in Stellar and Planetary Atmospheres (Ü):	1	14	16	0
	Gesamtaufwand	6	56	70	54
Studien-/Prüfungsleistungen	Voraussetzungen: Keine Prüfungsart: Klausur oder mündliche Prüfung (benotet) Prüfungssprache: Englisch oder Deutsch Abweichungen werden zu Beginn der Veranstaltung bekannt gegeben.				
Dauer	Ein Semester				
Häufigkeit des Angebots	i. d. R. einmal im Jahr				
Literatur:	Wird in der Veranstaltung bekannt gegeben.				

Modultitel:	Stellar Structure and Evolution
Modulnummer/-kürzel:	PHY-MV-T106
Verwendbarkeit, Modultyp und Zuordnung zum Curriculum	Physik (M.Sc.): Wahlpflichtmodul (AA) Physics (M.Sc.): Wahlpflichtmodul (AA)
Voraussetzungen für die Teilnahme:	<u>Verbindlich:</u> Keine <u>Empfohlen:</u> Keine
Modulverantwortliche(r):	Prof. Dr. Thomas Kupfer
Lehrende:	Mitglieder des Lehrkörpers aus dem Fachbereich Physik
Sprache:	Englisch
Qualifikationsziele:	Nach erfolgreichem Abschluss des Moduls können die Studierenden den physikalischen Aufbau von Sternen erklären, zentrale Prozesse der Sternentwicklung analysieren, Sternmodelle interpretieren sowie Entwicklungsstadien unterschiedlicher Sterntypen vergleichen und bewerten. <i>After successful completion of the module, students are able to explain the physical structure of stars, analyze key processes of stellar evolution, interpret stellar models, and compare and evaluate evolutionary stages of different types of stars.</i>

Inhalt:	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. <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>				
Lehrveranstaltungen und Lehrformen:	Stellar Structure and Evolution (V): Exercises in Stellar Structure and Evolution (Ü):				3 SWS 1 SWS
Arbeitsaufwand* (Teilleistungen und insgesamt)		LP	P (Std)	S (Std)	PV (Std)
	Stellar Structure and Evolution (V):	5	42	54	54
	Exercises in Stellar Structure and Evolution (Ü):	1	14	16	0
	Gesamtaufwand	6	56	70	54
Studien- /Prüfungsleistungen	Voraussetzungen: Keine Prüfungsart: Klausur oder mündliche Prüfung (benotet) Prüfungssprache: Englisch Abweichungen werden zu Beginn der Veranstaltung bekannt gegeben.				
Dauer	Ein Semester				
Häufigkeit des Angebots	Jährlich im Wintersemester				
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:	The Interstellar Medium and Star Formation
Modulnummer/-kürzel:	PHY-MV-T107
Verwendbarkeit, Modultyp und Zuordnung zum Curriculum	Physik (M.Sc.): Wahlpflichtmodul (AA) Physics (M.Sc.): Wahlpflichtmodul (AA)
Voraussetzungen für die Teilnahme:	<u>Verbindlich:</u> Keine <u>Empfohlen:</u> Einführung in die Astrophysik I & II (B.Sc.)

Modulverantwortliche(r):	Prof. Dr. Robi Banerjee
Lehrende:	Mitglieder des Lehrkörpers aus dem Fachbereich Physik
Sprache:	Englisch oder Deutsch
Qualifikationsziele:	Nach erfolgreichem Abschluss des Moduls können die Studierenden die physikalischen Eigenschaften des interstellaren Mediums erläutern, zentrale Prozesse der Sternentstehung analysieren, hydrodynamische und magnetohydrodynamische Gleichungen anwenden sowie theoretische Modelle mit beobachtungsbasierten Ergebnissen vergleichen. <i>After successful completion of the module, students are able to explain the physical properties of the interstellar medium, analyze key processes of star formation, apply hydrodynamic and magnetohydrodynamic equations, and compare theoretical models with observational results.</i>
Inhalt:	- Phasen und physikalische Eigenschaften des interstellaren Mediums (ISM) - Molekülwolken: Beobachtungen und physikalische Eigenschaften - Bedingungen der Sternentstehung (Jeans-Kriterium, Bonnor–Ebert-Kugeln) - Turbulenz und Fragmentierung in Sternentstehungsregionen - Initiale Massenfunktion (IMF): Beobachtungen und theoretische Ansätze - Gravitationskollapsmodelle (Larson–Penston, Shu) - Magnetfelder in der Sternentstehung (Masse-zu-Fluss-Verhältnis, ambipolare Diffusion) - Beobachtungsmethoden für Magnetfelder (Polarisation, Zeeman-Effekt, Rotationsmaß) - Scheibenbildung und Jet-Startprozesse beim Kollaps - Beobachtungen protostellarer Jets - Entstehung massereicher Sterne - Rückkopplungsprozesse (HII-Regionen, Supernovae, getriggerte Sternentstehung) - Protostellare Entwicklung und Evolutionsklassen - Entwicklung protoplanetarer Scheiben - Planetenentstehungsmodelle (Gravitationsinstabilität, Kernakkretion) - <i>Phases and physical properties of the interstellar medium (ISM)</i> - <i>Molecular clouds: observations and physical properties</i> - <i>Conditions for star formation (Jeans criterion, Bonnor–Ebert spheres)</i> - <i>Turbulence and fragmentation in star-forming regions</i> - <i>Initial mass function (IMF): observational and theoretical aspects</i> - <i>Gravitational collapse models (Larson–Penston, Shu)</i> - <i>Magnetic fields in star formation (mass-to-flux ratio, ambipolar diffusion)</i> - <i>Observational techniques for magnetic fields (polarisation, Zeeman effect, rotation measures)</i> - <i>Disc formation and jet launching in protostellar collapse</i> - <i>Observations of protostellar jets</i> - <i>Formation of massive stars</i> - <i>Feedback processes (HII regions, supernovae, triggered star formation)</i> - <i>Protostellar evolution and evolutionary classes</i> - <i>Evolution of protoplanetary disks</i> - <i>Planet formation models (gravitational instability, core accretion)</i>

Lehrveranstaltungen und Lehrformen:	The Interstellar Medium and Star Formation (V): Exercises in the Interstellar Medium and Star Formation (Ü):				3 SWS 1 SWS
Arbeitsaufwand* (Teilleistungen und insgesamt)		LP	P (Std)	S (Std)	PV (Std)
	The Interstellar Medium and Star Formation (V): Exercises in the Interstellar Medium and Star Formation (Ü):	5 1	42 14	54 16	54 0
	Gesamtaufwand	6	56	70	54
Studien- /Prüfungsleistungen	Voraussetzungen: Keine Prüfungsart: Klausur oder mündliche Prüfung (benotet) Prüfungssprache: Englisch Abweichungen werden zu Beginn der Veranstaltung bekannt gegeben.				
Dauer	Ein Semester				
Häufigkeit des Angebots	i. d. R. alle zwei Jahre im Wintersemester				
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:	Theory and application of PHOENIX
Modulnummer/-kürzel:	PHY-MV-T108
Verwendbarkeit, Modultyp und Zuordnung zum Curriculum	Physik (M.Sc.): Wahlpflichtmodul (AA) Physics (M.Sc.): Wahlpflichtmodul (AA)
Voraussetzungen für die Teilnahme:	<u>Verbindlich:</u> Kenntnisse in Fortran90 und MPI, nachgewiesene Grundkenntnisse in PHOENIX <u>Empfohlen:</u> Einführung in die Astronomie I und II, Computational Astrophysics, Stellar and planetary atmospheres
Modulverantwortliche(r):	Prof. Dr. Peter Hauschildt
Lehrende:	Mitglieder des Lehrkörpers aus dem Fachbereich Physik
Sprache:	Englisch
Qualifikationsziele:	Nach erfolgreichem Abschluss des Moduls können die Studierenden die Struktur und Funktionsweise des Simulationscodes PHOENIX erläutern, zentrale Algorithmen und Module anwenden, astrophysikalische Simulationsrechnungen durchführen sowie Simulationsergebnisse kritisch analysieren und interpretieren.

	<i>After successful completion of the module, students are able to explain the structure and functionality of the PHOENIX simulation code, apply core algorithms and modules, perform astrophysical simulation runs, and critically analyze and interpret simulation results.</i>				
Inhalt:	Es werden die verschiedenen Module von PHOENIX diskutiert und besprochen. Es werden praktische Erfahrungen bei der Anwendung von PHOENIX diskutiert. <i>The different modules of PHOENIX are discussed and reviewed. Practical experiences in the application of PHOENIX will be discussed.</i>				
Lehrveranstaltungen und Lehrformen:	Theory and Application of PHOENIX (V):				2 SWS
Arbeitsaufwand* (Teilleistungen und insgesamt)		LP	P (Std)	S (Std)	PV (Std)
	Theory and Application of PHOENIX (V):	3	28	32	30
	Gesamtaufwand	3	28	32	30
Studien- /Prüfungsleistungen	Voraussetzungen: aktive Teilnahme Prüfungsart: Mündliche Prüfung (benotet) Prüfungssprache: Englisch oder Deutsch				
Dauer	Ein Semester				
Häufigkeit des Angebots	Jedes Semester				
Literatur:	Wird in der Veranstaltung bekannt gegeben.				

Modultitel:	Accelerator Physics I
Modulnummer/-kürzel:	PHY-MV-E201
Verwendbarkeit, Modultyp und Zuordnung zum Curriculum	Physik (M.Sc.): Wahlpflichtmodul (AP, BP, XU) Physics (M.Sc.): Wahlpflichtmodul (AP, BP, XU) Physics and Chemistry of Nanomaterials (M.Sc.): Wahlpflichtmodul
Voraussetzungen für die Teilnahme:	<u>Verbindlich:</u> Keine <u>Empfohlen:</u> Keine
Modulverantwortliche(r):	Prof. Dr. Wolfgang Hillert
Lehrende:	Mitglieder des Lehrkörpers aus dem Fachbereich Physik
Sprache:	Englisch
Qualifikationsziele:	Nach erfolgreichem Abschluss des Moduls können die Studierenden die grundlegenden Prinzipien der Beschleunigerphysik erläutern, einfache Beschleunigeranlagen konzipieren, zentrale Komponenten und Strahloptiksysteme auslegen sowie grundlegende Strahldynamikprozesse analysieren und berechnen. <i>After successful completion of the module, students are able to explain the fundamental principles of accelerator physics, design simple accelerator systems,</i>

	<i>dimension key components and beam optics systems, and analyze and calculate basic beam dynamics processes.</i>				
Inhalt:	- 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 - <i>Overview of accelerator types: electrostatic accelerators and induction accelerators, DTL, RFQ, Alvarez, linac, cyclotron, synchrotron, microtron.</i> - <i>Components of accelerators: Particle sources, radio frequency systems and cavities, magnets, vacuum systems</i> - <i>Linear beam optics: equations of motion, matrix formalism, beam parameters, phase space representation</i> - <i>Circular accelerators: periodic magnetic structures, transverse and longitudinal beam dynamics</i> - <i>Visits to accelerators on the DESY site (e.g. FLASH, PETRA III, HERA) to illustrate and deepen the subject matter.</i>				
Lehrveranstaltungen und Lehrformen:	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)
	Accelerator Physics I (V):	3	28	32	30
	Exercises in Accelerator Physics I (Ü):	2	28	32	0
	Gesamtaufwand	5	56	64	30
Studien- /Prüfungsleistungen	Voraussetzungen: Erfolgreiche Bearbeitung der Übungsaufgaben Prüfungsart: Mündliche Prüfung (benotet) Prüfungssprache: Englisch oder Deutsch Abweichungen werden zu Beginn der Veranstaltung bekannt gegeben.				
Dauer	Ein Semester				
Häufigkeit des Angebots	Jährlich im Wintersemester				
Literatur:	- S. Y. Lee: Accelerator Physics, 3rd edition, World Scientific, New Jersey 2011, ISBN 978-981-4374-94-1 - K. Wille: Physik der Teilchenbeschleuniger und Synchrotron-strahlungsquellen, 2. überarb. und erw. Auflage, Teubner 1996, Stuttgart, ISBN 978-3-519-13087-1 - K. Wille: The physics of particle accelerators, Oxford Univ. Press 2005, Oxford, ISBN 0-19-850550-7 (engl. Übersetzung, teuer!) - 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 978-3-540-75281-3				

	- H. Wiedemann: Particle Accelerator Physics I, 4th edition, Springer 2015, Berlin, ISBN 978-3-319-18316-9 - A. W. Chao, M. Tigner: Handbook of Accelerator Physics and Engineering, 2nd edition, World Scientific, Singapore, 2013, ISBN 978-4417-17-4
--	---

Modultitel:	Accelerator Physics II
Modulnummer/-kürzel:	PHY-MV-E202
Verwendbarkeit, Modultyp und Zuordnung zum Curriculum	Physik (M.Sc.): Wahlpflichtmodul (AP) Physics (M.Sc.): Wahlpflichtmodul (AP)
Voraussetzungen für die Teilnahme:	<u>Verbindlich:</u> Keine <u>Empfohlen:</u> Accelerator Physics I
Modulverantwortliche(r):	Prof. Dr. Wolfgang Hillert
Lehrende:	Mitglieder des Lehrkörpers aus dem Fachbereich Physik
Sprache:	Englisch
Qualifikationsziele:	Nach erfolgreichem Abschluss des Moduls können die Studierenden fortgeschrittene Konzepte der Beschleunigerphysik erläutern, zentrale Effekte zur Begrenzung von Strahlqualität, Intensität und Luminosität analysieren, moderne Beschleunigerkonzepte bewerten sowie Auslegungs- und Optimierungsstrategien für Synchrotronstrahlungsquellen, Kollider und Freie-Elektronen-Laser anwenden. <i>After successful completion of the module, students are able to explain advanced concepts of accelerator physics, analyze key effects limiting beam quality, intensity and luminosity, evaluate modern accelerator concepts, and apply design and optimization strategies for synchrotron radiation sources, colliders and free electron lasers.</i>
Inhalt:	Diese Veranstaltung ist eine Fortführung und Vertiefung der einführenden Vorlesung „Beschleunigerphysik I“. Ein Einstieg ohne diese Einführung gehört zu haben ist prinzipiell möglich, erfordert aber die eigenständige Einarbeitung in den Matrixformalismus zur Beschreibung der linearen Strahlphysik anhand der Twiss-Parameter. Dies sollte mit Hilfe vorhandener sehr guter Lehrbücher problemlos möglich sein. Inhalt: - Synchrotronstrahlung und Strahlungsgleichgewicht - Synchrotronstrahlungsquellen - Raumladungseffekte - Luminosität und Kollider - Phasenraumkühlung (Stochastisches Kühlen, Elektronenkühlen) - Freie-Elektronen-Laser <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</i>

	<i>requires an independent familiarization with the matrix formalism describing the linear beam optics in terms of the Twiss-parameters which in general should be easily possible due to existing very good textbooks.</i> <i>Contents:</i> - Synchrotron radiation and radiation equilibrium - Synchrotron radiation sources - Space charge effects - Luminosity and colliders - Phase space cooling (stochastic cooling, electron cooling) - Free electron lasers				
Lehrveranstaltungen und Lehrformen:	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)
	Accelerator Physics II (V):	3	28	32	30
	Exercises in Accelerator Physics II (Ü):	2	28	32	0
	Gesamtaufwand	5	56	64	30
Studien-/Prüfungsleistungen	Voraussetzungen: Erfolgreiche Bearbeitung der Übungsaufgaben Prüfungsart: Mündliche Prüfung (benotet) Prüfungssprache: Englisch oder Deutsch Abweichungen werden zu Beginn der Veranstaltung bekannt gegeben.				
Dauer	Ein Semester				
Häufigkeit des Angebots	Jährlich im Sommersemester				
Literatur:	- 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) - 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:	Advanced Particle Physics
Modulnummer/-kürzel:	PHY-MV-E203

Verwendbarkeit, Modultyp und Zuordnung zum Curriculum	Physik (M.Sc.): Wahlpflichtmodul (AP) Physics (M.Sc.): Wahlpflichtmodul (AP) Physics and Chemistry of Nanomaterials (M.Sc.): Wahlpflichtmodul				
Voraussetzungen für die Teilnahme:	<u>Verbindlich:</u> Keine <u>Empfohlen:</u> Physik V (B.Sc.) (oder ein gleichwertiger Bachelorstudiengang in Kern- und Teilchenphysik, insbesondere mit Grundkenntnissen über die Teilchen und Wechselwirkungen im Standardmodell sowie über Teilchendetektoren in der Hochenergiephysik)				
Modulverantwortliche(r):	Prof. Dr. Elisabetta Gallo, Prof. Dr. Peter Schleper				
Lehrende:	Mitglieder des Lehrkörpers aus dem Fachbereich Physik				
Sprache:	Englisch				
Qualifikationsziele:	Nach erfolgreichem Abschluss des Moduls können die Studierenden grundlegende Konzepte der Teilchenphysik erläutern, relevante physikalische Größen wie Wirkungsquerschnitte berechnen sowie den Zusammenhang zwischen theoretischen Modellen und experimentellen Messungen analysieren und bewerten. <i>After successful completion of the module, students are able to explain core concepts of particle physics, calculate relevant physical quantities such as interaction cross sections, and analyze the relationship between theoretical models and experimental measurements.</i>				
Inhalt:	- Grundlagen der relativistischen Quantenmechanik (Dirac-Theorie) - Symmetrien und Erhaltungssätze in der Teilchenphysik - Feynman-Diagramme und perturbative Methoden - Eichtheorie des Elektromagnetismus - Starke Wechselwirkung und Quantenchromodynamik - Elektroschwache Vereinigung und Brout–Englert–Higgs-Mechanismus - Experimentelle Grundlagen der Teilchenphysik - Zentrale Entdeckungen der Elementarteilchenphysik - Entdeckung des Higgs-Bosons am Large Hadron Collider (CERN) - <i>Fundamentals of relativistic quantum mechanics (Dirac theory)</i> - <i>Symmetries and conservation laws in particle physics</i> - <i>Feynman diagrams and perturbative methods</i> - <i>Gauge theory of electromagnetism</i> - <i>Strong interactions and Quantum Chromodynamics</i> - <i>Electroweak unification and the Brout–Englert–Higgs mechanism</i> - <i>Experimental foundations of particle physics</i> - <i>Major discoveries in elementary particle physics</i> - <i>Higgs boson discovery at the Large Hadron Collider (CERN)</i>				
Lehrveranstaltungen und Lehrformen:	Advanced Particle Physics (V): Exercises in Advanced Particle Physics (Ü):				4 SWS 2 SWS
Arbeitsaufwand* (Teilleistungen und insgesamt)		LP	P (Std)	S (Std)	PV (Std)
	Advanced Particle Physics (V):	6	56	62	62
	Exercises in Advanced Particle Physics (Ü):	2	28	32	0
	Gesamtaufwand	8	84	94	62

Studien- /Prüfungsleistungen	Voraussetzungen: Keine Prüfungsart: Klausur oder mündliche Prüfung (benotet) Prüfungssprache: Englisch oder Deutsch Abweichungen werden zu Beginn der Veranstaltung bekannt gegeben.
Dauer	Ein Semester
Häufigkeit des Angebots	Jährlich im Wintersemester
Literatur:	- B. R. Martin and G. Shaw. Particle Physics. 2008 - D. Griffiths. Introduction to Elementary Particle Physics. 2008 - O. Nachtmann. Elementary Particle Physics: Concepts and Phenomena. 1990. - F. Halzen and A. D. Martin. Quarks and Leptons: An Introductory Course in Modern Particle Physics. 1984. - D. H. Perkins. Introduction to High Energy Physics. 1982. - M. E. Peskin and D. V. Schroeder. An Introduction to Quantum Field Theory. 1995. - M. Thomson, Modern Particle Physics, 2011 - Bettini, Introduction to Particle Physics, 3rd edition, 202

Modultitel:	Excursion to European Accelerator Labs
Modulnummer/-kürzel:	PHY-MV-E204
Verwendbarkeit, Modultyp und Zuordnung zum Curriculum	Physik (M.Sc.): Wahlpflichtmodul (AP) Physics (M.Sc.): Wahlpflichtmodul (AP)
Voraussetzungen für die Teilnahme:	<u>Verbindlich:</u> Erfolgreicher Abschluss von mindestens einem der beiden Kurse über Beschleunigerphysik (Beschleunigerphysik I, Beschleunigerphysik II) <u>Empfohlen:</u> Umfassende Kenntnisse in Beschleunigerphysik, die – teilweise aufbauend auf der Einführungsveranstaltung „Beschleunigerphysik I“ – durch Besuch der Veranstaltung „Beschleunigerphysik II“ erworben werden können.
Modulverantwortliche(r):	Prof. Dr. Wolfgang Hillert
Lehrende:	Mitglieder des Lehrkörpers aus dem Fachbereich Physik
Sprache:	Englisch oder Deutsch
Qualifikationsziele:	Nach erfolgreichem Abschluss des Moduls können die Studierenden unterschiedliche Typen moderner Beschleunigeranlagen systematisch vergleichen, deren Funktionsprinzipien erläutern und typische Einsatzgebiete einordnen. Sie sind in der Lage, die technischen und betrieblichen Besonderheiten realer Großforschungsanlagen zu analysieren und die gewonnenen Eindrücke in einen wissenschaftlichen Kontext einzuordnen. <i>After successful completion of the module, students are able to systematically compare different types of modern accelerator facilities, explain their operating principles, and classify typical application areas. They can analyze technical and operational characteristics of large-scale research infrastructures and place the acquired insights into a scientific context.</i>

Inhalt:	- Exkursion zu europäischen Beschleunigerlabors (CERN, PSI, GSI) - Führungen durch Ionenbeschleuniger und Ionenquellen - Linearbeschleuniger und Speicherringe - Synchrotronstrahlungsquellen und Neutroneneinrichtungen - Zyklotrone und Vorbeschleunigersysteme - Mikrotron-Beschleunigeranlagen - Infrastruktur für Hochenergie-Teilchenbeschleuniger - Großbeschleunigerkomplexe und Experimentierhallen - <i>Excursion to European accelerator laboratories (CERN, PSI, GSI)</i> - <i>Guided tours of ion accelerators and ion sources</i> - <i>Linear accelerators and storage rings</i> - <i>Synchrotron radiation sources and neutron facilities</i> - <i>Cyclotrons and pre-accelerator systems</i> - <i>Microtron accelerator facilities</i> - <i>High-energy collider infrastructure</i> - <i>Large-scale accelerator complexes and experimental halls</i>				
Lehrveranstaltungen und Lehrformen:	4-tägige Exkursion inkl. Führungen				4 SWS
Arbeitsaufwand* (Teilleistungen und insgesamt)		LP	P (Std)	S (Std)	PV (Std)
	4-tägige Exkursion inkl. Führungen	6	56	62	62
	Gesamtaufwand	6	56	62	62
Studien-/Prüfungsleistungen	Voraussetzungen: Keine Prüfungsart: Klausur oder mündliche Prüfung (benotet) Prüfungssprache: Englisch oder Deutsch Abweichungen werden vor Beginn der Lehrveranstaltung bekannt gegeben.				
Dauer	Ein Semester				
Häufigkeit des Angebots	Jährlich im Sommersemester				
Literatur:	Standard-Lehrbücher über Beschleunigerphysik				

Modultitel:	Experimental Astroparticle Physics
Modulnummer/-kürzel:	PHY-MV-E205
Verwendbarkeit, Modultyp und Zuordnung zum Curriculum	Physik (M.Sc.): Wahlpflichtmodul (AA, AP) Physics (M.Sc.): Wahlpflichtmodul (AA, AP)
Voraussetzungen für die Teilnahme:	<u>Verbindlich:</u> Keine <u>Empfohlen:</u> Astrophysik
Modulverantwortliche(r):	Prof. Dr. Dieter Horns; Prof. Dr. Caren Hagner
Lehrende:	Mitglieder des Lehrkörpers aus dem Fachbereich Physik
Sprache:	Englisch

Qualifikationsziele:	Nach erfolgreichem Abschluss des Moduls sind die Studierenden fähig, konkrete Experimente und deren Messungen in einen Zusammenhang zu setzen. Sie 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. <i>After successful completion of the module, students are able to put concrete experiments and their measurements into a context. They 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>				
Inhalt:	Astroteilchenphysik mit Schwerpunkten Neutrinophysik (Neutrino nachweis, Neutrinoerzeugung, Neutrinooszillation), kosmische Beschleuniger (Erzeugung, Propagation und Nachweis kosmischer Strahlung. Dazu wechselnde aktuelle Themen aus den relevanten Gebieten der Astroteilchenphysik (dunkle Materie, Kosmologie etc.). <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>				
Lehrveranstaltungen und Lehrformen:	Experimental Astroparticle Physics (V): Exercises in Experimental Astroparticle Physics (Ü):			4 SWS 2 SWS	
Arbeitsaufwand* (Teilleistungen und insgesamt)		LP	P (Std)	S (Std)	PV (Std)
	Experimental Astroparticle Physics (V): Exercises in Experimental Astroparticle Physics (Ü):	6 2	56 28	62 32	62 0
	Gesamtaufwand	8	84	94	62
Studien- /Prüfungsleistungen	Voraussetzungen: Vortrag Prüfungsart: Mündliche Prüfung (benotet) Prüfungssprache: Englisch Abweichungen werden zu Beginn der Veranstaltung bekannt gegeben.				
Dauer	Ein Semester				
Häufigkeit des Angebots	Jährlich im Wintersemester				
Literatur:	Wird in der Veranstaltung bekannt gegeben.				

Modultitel:	Experiments on Physics beyond the Standard Model
Modulnummer/-kürzel:	PHY-MV-E206

Verwendbarkeit, Modultyp und Zuordnung zum Curriculum	Physik (M.Sc.): Wahlpflichtmodul (AP) Physics (M.Sc.): Wahlpflichtmodul (AP)				
Voraussetzungen für die Teilnahme:	<u>Verbindlich:</u> Keine <u>Empfohlen:</u> Advanced Particle Physics				
Modulverantwortliche(r):	Prof. Dr. Peter Schleper, Prof. Dr. Gregor Kasieczka				
Lehrende:	Mitglieder des Lehrkörpers aus dem Fachbereich Physik				
Sprache:	Englisch oder Deutsch				
Qualifikationsziele:	Nach erfolgreichem Abschluss des Moduls können die Studierenden die Motivation und Grenzen des Standardmodells erläutern, zentrale theoretische Konzepte der Physik jenseits des Standardmodells zusammenfassen sowie experimentelle Suchstrategien und aktuelle Resultate kritisch einordnen. <i>After successful completion of the module, students are able to explain the motivation and limitations of the Standard Model, summarize key theoretical concepts beyond the Standard Model, and critically assess experimental search strategies and current results.</i>				
Inhalt:	- Motivation für Physik jenseits des Standardmodells (BSM) - Limitationen des Standardmodells - Theoretische Ansätze und Modelle jenseits des Standardmodells - Experimentelle Suchen nach BSM-Effekten - Ergebnisse und aktueller Status der BSM-Experimente - <i>Motivation for physics beyond the Standard Model (BSM)</i> - <i>Limitations of the Standard Model</i> - <i>Theoretical approaches and models beyond the Standard Model</i> - <i>Experimental searches for BSM effects</i> - <i>Results and current status of BSM experiments</i>				
Lehrveranstaltungen und Lehrformen:	Experiments on Physics beyond the Standard Model (V): Exercises in Experiments on Physics beyond the Standard Model (Ü):				3 SWS 1 SWS
Arbeitsaufwand* (Teilleistungen und insgesamt)		LP	P (Std)	S (Std)	PV (Std)
	Experiments on Physics beyond the Standard Model (V):	5	42	54	54
	Exercises in Experiments on Physics beyond the Standard Model (Ü):	1	14	16	0
	Gesamtaufwand	6	56	70	54
Studien-/Prüfungsleistungen	Voraussetzungen: Keine Prüfungsart: Klausur oder mündliche Prüfung (benotet) Prüfungssprache: Englisch oder Deutsch Abweichungen werden zu Beginn der Veranstaltung bekannt gegeben.				
Dauer	Ein Semester				

Häufigkeit des Angebots	Jährlich im Sommersemester
--------------------------------	----------------------------

Modultitel:	Instrumentation and Analysis Methods
Modulnummer/-kürzel:	PHY-MV-E207
Verwendbarkeit, Modultyp und Zuordnung zum Curriculum	Physik (M.Sc.): Wahlpflichtmodul (AP) Physics (M.Sc.): Wahlpflichtmodul (AP)
Voraussetzungen für die Teilnahme:	<u>Verbindlich:</u> Keine <u>Empfohlen:</u> Keine
Modulverantwortliche(r):	Prof. Dr. Erika Garutti
Lehrende:	Mitglieder des Lehrkörpers aus dem Fachbereich Physik
Sprache:	Englisch
Qualifikationsziele:	Am Ende des Kurses sind die Studierenden mit modernen Detektionsmethoden vertraut, die in der Teilchenphysik, Photon-Science, Medizin und inneren Sicherheit eingesetzt werden. Sie erwerben Grundkenntnisse in C++- und ROOT-Programmierung. Sie sind mit den folgenden Konzepten vertraut: Messungen der Ionisierung, Positions-, Energie- und Impulsbestimmung von Teilchen sowie Teilchenidentifikation und Zeitmessungen. Sie erwerben Kenntnisse in der Datenanalyse und statistischen Datenverarbeitung (Fehlerberechnung, Anpassungsverfahren, Entfaltung, Berechnung der Ausschlussgrenze), die in allen Bereichen der experimentellen Physik relevant sind. <i>At the end of the course the students are familiar with modern detection methods used in particle physics, photon science, medicine and homeland security. They gain basic knowledge of C++ and ROOT programming. They are familiar with the following concepts: measurements of ionization, position, energy and momentum determination of particles, as well as particle identification and timing measurements. They gain knowledge of data analysis and statistical treatment of data (error calculation, fitting procedures, unfolding, exclusion limit calculation) relevant in all fields of experimental physics.</i>
Inhalt:	- Grundlagen der Statistik und Datenanalyse in der experimentellen Physik - Monte-Carlo-Simulationen und numerische Integrationsmethoden - Minimierungsverfahren und statistische Dateninterpretation - Instrumentierungstechniken zur Teilchen- und Photonendetektion - Wechselwirkung von Teilchen mit Materie - Szintillationsdetektoren und Flugzeitmesssysteme - Prinzipien von Gasdetektoren - Siliziumdetektoren für geladene Teilchen und Photonen - Kalorimetrie und Detektoren zur Teilchenidentifikation - Großskalige Detektorsysteme (z. B. Kollisions-Experimente) - Detektoren für Photon Science (z. B. XFEL) - Technologien zur Dunkle-Materie- und Gravitationswellendetektion - Rechnergestützte Übungen zur Datenanalyse und Detektorsimulation - Einführung in C++ und ROOT für die experimentelle Datenanalyse

	<i>The course aims to provide the basics of statistics, data analysis and simulation methods including Monte-Carlo integration, minimization techniques and statistical interpretations of data which are methods relevant in all fields of experimental physics. In addition, instrumentation techniques are covered, detection methods for charged particles and photons in a broad energy range relevant for particle physics (PP), medicine (M), photon science (X), homeland security (HL).</i> <i>Some of the instrumentation topics covered are: the interaction of particles with matter, scintillators and time-of-flight detectors (PP,M,HL) the principle of gas chambers (PP,M,HL) silicon detectors for charged particles and photons (PP,M,X), modern calorimetry and detectors for particle identification (PP, space) large detector systems (LHC/Tevatron/ future ILC) photon science detector (XFEL) Dark Matter and Gravitational wave detectors</i> <i>The course is accompanied by computer exercises to gain a deeper understanding in data analysis techniques and simulation as well as in detector physics. A basic introduction to C++ and ROOT will be offered at the beginning of the course covering the aspects needed in the exercise classes. More information is available on: http://wwwiexp.desy.de/groups/pd/?q=education/instrumentation-and-analysis-methods</i>				
Lehrveranstaltungen und Lehrformen:	Instrumentation and Analysis Methods (V): Exercises in Instrumentation and Analysis Methods (Ü):				4 SWS 2 SWS
Arbeitsaufwand*		LP	P (Std)	S (Std)	PV (Std)
(Teilleistungen und insgesamt)	Instrumentation and Analysis Methods (V): Exercises in Instrumentation and Analysis Methods (Ü):	6 2	56 28	62 32	62 0
	Gesamtaufwand	8	84	94	62
Studien- /Prüfungsleistungen	Voraussetzungen: Keine Prüfungsart: Mündliche Prüfung (benotet) Prüfungssprache: Englisch oder Deutsch Abweichungen werden zu Beginn der Veranstaltung bekannt gegeben.				
Dauer	Ein Semester				
Häufigkeit des Angebots	Jährlich im Sommersemester				
Literatur:	- K.Kleinknecht: Detectors for Particle Radiation, Cambridge - C.Grupen: Particle Detectors, Cambridge - W.R.Leo: Techniques for Nuclear and Particle Physics Experiments, Springer - C.W.Fabjan and J.E.Pilcher, Instrumentation in elementary particle physics, World Scientific - T.Ferbel, Experimental Techniques in High Energy Physics - F.Sauli, Instrumentation in High Energy Physics, World Scientific				

	- R.Wigmans: Calorimetry: Energy Measurement in Particle Physics, Clarendon Press
--	---

Modultitel:	Particle Physics and the Large Hadron Collider (LHC): Accelerators, Detectors and Physics
Modulnummer/-kürzel:	PHY-MV-E208
Verwendbarkeit, Modultyp und Zuordnung zum Curriculum	Physik (M.Sc.): Wahlpflichtmodul (AP) Physics (M.Sc.): Wahlpflichtmodul (AP)
Voraussetzungen für die Teilnahme:	<u>Verbindlich:</u> Keine <u>Empfohlen:</u> Keine
Modulverantwortliche(r):	Prof. Dr. Johannes Haller
Lehrende:	Mitglieder des Lehrkörpers aus dem Fachbereich Physik
Sprache:	Englisch oder Deutsch
Qualifikationsziele:	Nach erfolgreichem Abschluss des Moduls können die Studierenden die physikalischen Grundlagen der Teilchenphysik am LHC erläutern, Aufbau und Funktionsweise von Beschleunigern und Detektoren beschreiben, experimentelle Ergebnisse kritisch analysieren sowie aktuelle Forschungsthemen wie Higgs-Physik und die Suche nach Neuer Physik einordnen. <i>After successful completion of the module, students are able to explain the physical foundations of particle physics at the LHC, describe the design and operation of accelerators and detectors, critically analyze experimental results, and contextualize current research topics such as Higgs physics and searches for new physics.</i>
Inhalt:	- Einführung in die Teilchenphysik am LHC - Beschleuniger und der Large Hadron Collider - Grundlagen von Proton-Proton-Kollisionen - Spurdetektoren am LHC - QCD- und elektroschwache Prozesse am LHC - Kalorimetersysteme der LHC-Detektoren - Trigger- und Datennahmesysteme - Physik des Top-Quarks - Suche und Untersuchung des Higgs-Bosons - Suche nach neuer Physik - Suche nach Supersymmetrie - Ausblick - <i>Introduction to particle physics at the LHC</i> - <i>Accelerators and the Large Hadron Collider</i> - <i>Basics of proton–proton collisions</i> - <i>Tracking detectors at the LHC</i> - <i>QCD and electroweak processes at the LHC</i> - <i>Calorimeter systems of LHC detectors</i> - <i>Trigger and data acquisition systems</i>

	- <i>Top quark physics</i> - <i>Higgs boson searches and measurements</i> - <i>Searches for new physics</i> - <i>Searches for supersymmetry</i> - <i>Outlook on future developments</i>				
Lehrveranstaltungen und Lehrformen:	Particle Physics and the Large Hadron Collider (LHC): Accelerators, Detectors and Physics (V): Exercises in Particle Physics and the Large Hadron Collider (LHC): Accelerators, Detectors and Physics (Ü):				4 SWS 2 SWS
Arbeitsaufwand* (Teilleistungen und insgesamt)		LP	P (Std)	S (Std)	PV (Std)
	Particle Physics and the Large Hadron Collider (LHC): Accelerators, Detectors and Physics (V):	6	56	62	62
	Exercises in Particle Physics and the Large Hadron Collider (LHC): Accelerators, Detectors and Physics (Ü):	2	28	32	0
	Gesamtaufwand	8	84	94	62
Studien-/Prüfungsleistungen	Voraussetzungen: Keine Prüfungsart: Klausur oder mündliche Prüfung (benotet) Prüfungssprache: Englisch oder Deutsch Abweichungen werden zu Beginn der Veranstaltung bekannt gegeben.				
Dauer	Ein Semester				
Häufigkeit des Angebots	Jährlich im Sommersemester				
Literatur:	wird in der Veranstaltung bekannt gegeben				

Modultitel:	Physics and Applications of Laser-Plasma Accelerators: from Free-Electron Lasers to Medical Imaging
Modulnummer/-kürzel:	PHY-MV-E209
Verwendbarkeit, Modultyp und Zuordnung zum Curriculum	Physik (M.Sc.): Wahlpflichtmodul (AP, BP, XU) Physics (M.Sc.): Wahlpflichtmodul (AP, BP, XU)
Voraussetzungen für die Teilnahme:	<u>Verbindlich:</u> Keine <u>Empfohlen:</u> Keine
Modulverantwortliche(r):	Prof. Dr. Florian Grüner
Lehrende:	Mitglieder des Lehrkörpers aus dem Fachbereich Physik
Sprache:	Englisch oder Deutsch
Qualifikationsziele:	Nach erfolgreichem Abschluss des Moduls können die Studierenden die physikalischen Grundlagen der Plasma-Wakefield-Beschleunigung erläutern, die Entstehung ultrahoher Feldgradienten und kurzer Elektronenbündel analysieren

	sowie Anwendungen laserbasierter Beschleuniger in Röntgenquellen, Freie-Elektronen-Lasern und der medizinischen Bildgebung bewerten. <i>After successful completion of the module, students are able to explain the physical principles of plasma wakefield acceleration, analyze the origin of ultra-high field gradients and short electron bunches, and evaluate applications of laser-based accelerators in X-ray sources, free-electron lasers and medical imaging.</i>				
Inhalt:	- Grundlagen der Laser-Plasma-Beschleunigung - Ultrahohe Feldgradienten und kurze Elektronenbunches - Kompakte Beschleunigerkonzepte und Anwendungen - Laser-plasma-getriebene Röntgenquellen - Kopplung von Laser-Plasma-Beschleunigern an Freie-Elektronen-Laser - Anwendungen im Bereich medizinischer Bildgebung - <i>Fundamentals of laser-plasma acceleration</i> - <i>Ultra-high accelerating field gradients and short electron bunches</i> - <i>Compact accelerator concepts and applications</i> - <i>Laser-plasma-driven X-ray sources</i> - <i>Coupling of laser-plasma accelerators to free-electron lasers</i> - <i>Applications in the field of medical imaging</i>				
Lehrveranstaltungen und Lehrformen:	Physics and Applications of Laser-Plasma Accelerators: from Free-Electron Lasers to Medical Imaging (V): Exercises in Physics and Applications of Laser-Plasma Accelerators: from Free-Electron Lasers to Medical Imaging (Ü):			4 SWS	2 SWS
Arbeitsaufwand* (Teilleistungen und insgesamt)		LP	P (Std)	S (Std)	PV (Std)
	Physics and Applications of Laser-Plasma Accelerators: from Free-Electron Lasers to Medical Imaging (V):	6	56	62	62
	Exercises in Physics and Applications of Laser-Plasma Accelerators: from Free-Electron Lasers to Medical Imaging (Ü):	2	28	32	0
	Gesamtaufwand	8	84	94	62
Studien-/Prüfungsleistungen	Voraussetzungen: Keine Prüfungsart: Klausur oder mündliche Prüfung (benotet) Prüfungssprache: Englisch oder Deutsch Abweichungen werden zu Beginn der Veranstaltung bekannt gegeben.				
Dauer	Ein Semester				
Häufigkeit des Angebots	Jährlich im Sommersemester				
Literatur:	Wird in der Vorlesung bekanntgegeben				

Modultitel:	Computer Algebra and Particle Physics
Modulnummer/-kürzel:	PHY-MV-T202

Verwendbarkeit, Modultyp und Zuordnung zum Curriculum	Physik (M.Sc.): Wahlpflichtmodul (AP, TP) Physics (M.Sc.): Wahlpflichtmodul (AP, TP)				
Voraussetzungen für die Teilnahme:	<u>Verbindlich:</u> Keine <u>Empfohlen:</u> Quantenphysik				
Modulverantwortliche(r):	Prof. Dr. Sven-Olaf Moch				
Lehrende:	Mitglieder des Lehrkörpers aus dem Fachbereich Physik				
Sprache:	Englisch				
Qualifikationsziele:	Nach erfolgreichem Abschluss des Moduls können die Studierenden grundlegende Algorithmen der Computer-Algebra erläutern, Computeralgebrasysteme zur Bearbeitung physikalischer Probleme einsetzen, symbolische Rechnungen durchführen sowie Feynman-Integrale und algebraische Ausdrücke in der theoretischen Teilchenphysik effizient berechnen und analysieren. <i>After successful completion of the module, students are able to explain fundamental computer algebra algorithms, use computer algebra systems to solve physics problems, perform symbolic calculations, and efficiently compute and analyze Feynman integrals and algebraic expressions in theoretical particle physics.</i>				
Inhalt:	- Einführung in Algorithmen der theoretischen Teilchenphysik - Computeralgebrasysteme (Mathematica, Maple, FORM) - Ausdrücke, Muster, Ersetzungen und Funktionen - Techniken zur Berechnung von Feynman-Integralen - Praktische Übungen mit Computeralgebra-Software - <i>Introduction to algorithms for theoretical particle physics</i> - <i>Computer algebra systems (Mathematica, Maple, FORM)</i> - <i>Expressions, patterns, substitutions and functions</i> - <i>Techniques for computing Feynman integrals</i> - <i>Practical exercises with computer algebra software</i>				
Lehrveranstaltungen und Lehrformen:	Computer Algebra and Particle Physics (V): Exercises in Computer Algebra and Particle Physics (Ü):			3 SWS	1 SWS
Arbeitsaufwand* (Teilleistungen und insgesamt)		LP	P (Std)	S (Std)	PV (Std)
	Computer algebra and particle physics (V):	5	42	54	54
	Exercises in computer algebra and particle physics (Ü):	1	14	16	0
	Gesamtaufwand	6	56	70	54
Studien-/Prüfungsleistungen	Voraussetzungen: Keine Prüfungsart: Klausur oder mündliche Prüfung (benotet) Prüfungssprache: Englisch Abweichungen werden zu Beginn der Veranstaltung bekannt gegeben.				
Dauer	Ein Semester				
Häufigkeit des Angebots	i. d. R. alle zwei Jahre im Wintersemester				

Literatur:	- A. Grozin, Introduction to Mathematica for Physicists, Springer, 2014 - J. von zur Gathen and J. Gerhard, Modern Computer Algebra, Cambridge University Press, 2013
-------------------	--

Modultitel:	Group Theory for Physicists	
Modulnummer/-kürzel:	PHY-MV-T203	
Verwendbarkeit, Modultyp und Zuordnung zum Curriculum	Physik (M.Sc.): Wahlpflichtmodul (AP, TP) Physics (M.Sc.): Wahlpflichtmodul (AP, TP) Mathematical Physics (M.Sc.): Wahlpflichtmodul	
Voraussetzungen für die Teilnahme:	<u>Verbindlich:</u> Keine <u>Empfohlen:</u> Vorlesungen Theoretische Physik I und II (B.Sc.), Advanced Particle Physics	
Modulverantwortliche(r):	Prof. Dr. Gudrid Moortgat-Pick	
Lehrende:	Mitglieder des Lehrkörpers aus dem Fachbereich Physik	
Sprache:	Englisch	
Qualifikationsziele:	Nach erfolgreichem Abschluss des Moduls sind die Studierenden in der Lage, die grundlegenden Konzepte der Gruppentheorie zu erklären und auf physikalische Symmetrieprobleme anzuwenden. Sie können wichtige kontinuierliche und diskrete Symmetriegruppen, deren Darstellungen und Invarianten analysieren sowie die Bedeutung von Gruppenstrukturen für Teilchenphysik, Relativitätstheorie und Quantenmechanik und Stringtheorie einordnen. <i>After successful completion of the module, students will be able to explain the fundamental concepts of group theory and apply them to physical symmetry problems. They can analyze important continuous and discrete symmetry groups, their representations and invariants, and assess the role of group structures in particle physics, relativity, and quantum mechanics and string theory.</i>	
Inhalt:	- Grundlagen der Gruppentheorie - Symmetriegruppen und Klassen - Gruppendarstellungen - Rotationsgruppen und $SU(n)$ - Euklidische Gruppen - Lorentz- und Poincaré-Gruppen - Little Group - Anwendungen in der Physik - <i>Basics of group theory</i> - <i>Symmetry groups and conjugacy classes</i> - <i>Group representations</i> - <i>Rotation groups and $SU(n)$</i> - <i>Euclidean groups</i> - <i>Lorentz and Poincaré groups</i> - <i>Little group</i> - <i>Applications in physics</i>	
Lehrveranstaltungen und Lehrformen:	Group Theory for Physicists (V):	2 SWS

Arbeitsaufwand* (Teilleistungen und insgesamt)		LP	P (Std)	S (Std)	PV (Std)
	Group Theory for Physicists (V):	3	28	32	30
	Gesamtaufwand	3	28	32	30
Studien- /Prüfungsleistungen	Voraussetzungen: Keine Prüfungsart: Mündliche Prüfung (benotet) Prüfungssprache: Englisch Abweichungen werden zu Beginn der Veranstaltung bekannt gegeben.				
Dauer	Ein Semester				
Häufigkeit des Angebots	i. d. R. alle zwei Jahre im Wintersemester				
Literatur:	- Tung, W-K, Group Theory in Physics - Cornwell, J.F. Group Theory in Physics - Schutz, B, Geometrical methods of math. Physics				

Modultitel:	Introduction to Conformal Field Theory
Modulnummer/-kürzel:	PHY-MV-T204
Verwendbarkeit, Modultyp und Zuordnung zum Curriculum	Physik (M.Sc.): Wahlpflichtmodul (AP, TP) Physics (M.Sc.): Wahlpflichtmodul (AP, TP) Physics and Chemistry of Nanomaterials (M.Sc.): Wahlpflichtmodul Mathematical Physics (M.Sc.): Wahlpflichtmodul
Voraussetzungen für die Teilnahme:	<u>Verbindlich:</u> Keine <u>Empfohlen:</u> Theoretical Physics 1-3, Quantenfeldtheorie I
Modulverantwortliche(r):	Prof. Dr. Volker Schomerus
Lehrende:	Mitglieder des Lehrkörpers aus dem Fachbereich Physik
Sprache:	Englisch
Qualifikationsziele:	Die Studierenden können nach erfolgreichem Besuch der Vorlesung weiterführender Fachliteratur und neuere Forschungsarbeiten auf dem Gebiet der konformen Quantenfeldtheorie wissenschaftlich lesen und verstehen. <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>
Inhalt:	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 $d > 2$. <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>

Lehrveranstaltungen und Lehrformen:	Introduction to Conformal Field Theory (V): Exercises in Introduction to Conformal Field Theory (Ü):				3 SWS 1 SWS
Arbeitsaufwand* (Teilleistungen und insgesamt)		LP	P (Std)	S (Std)	PV (Std)
	Introduction to Conformal Field Theory (V): Exercises in Introduction to Conformal Field Theory (Ü):	5 1	42 14	54 16	54 0
	Gesamtaufwand	6	56	70	54
Studien- /Prüfungsleistungen	Voraussetzungen: Keine Prüfungsart: Klausur oder mündliche Prüfung (benotet) Prüfungssprache: Englisch Abweichungen werden zu Beginn der Veranstaltung bekannt gegeben.				
Dauer	Ein Semester				
Häufigkeit des Angebots	i. d. R. alle zwei Jahre im Wintersemester				
Literatur:	Weinberg, S, Quantum Field Theory				

Modultitel:	Introduction to String Theory
Modulnummer/-kürzel:	PHY-MV-T205
Verwendbarkeit, Modultyp und Zuordnung zum Curriculum	Physik (M.Sc.): Wahlpflichtmodul (AP, TP) Physics(M.Sc.): Wahlpflichtmodul (AP, TP) Mathematical Physics (M.Sc.): Wahlpflichtmodul
Voraussetzungen für die Teilnahme:	<u>Verbindlich</u> : Keine <u>Empfohlen</u> : Keine
Modulverantwortliche(r):	Prof. Dr. Volker Schomerus
Lehrende:	Mitglieder des Lehrkörpers aus dem Fachbereich Physik
Sprache:	Englisch
Qualifikationsziele:	Die Studierenden können nach erfolgreichem Besuch der Vorlesung weiterführende Fachliteratur und neuere Forschungsarbeiten auf dem Gebiet der Stringtheorie wissenschaftlich lesen und verstehen. <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>
Inhalt:	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. <i>This course covers the basics of string and superstring theory in flat and curved backgrounds. Topics include: Classical strings, quantization, relation with gauge</i>

	<i>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>				
Lehrveranstaltungen und Lehrformen:	Introduction to String Theory (V): Exercises in Introduction to String Theory (Ü):				3 SWS 1 SWS
Arbeitsaufwand* (Teilleistungen und insgesamt)		LP	P (Std)	S (Std)	PV (Std)
	Introduction to String Theory (V):	5	42	54	54
	Exercises in Introduction to String Theory (Ü):	1	14	16	0
	Gesamtaufwand	6	56	70	54
Studien-/Prüfungsleistungen	Voraussetzungen: Keine Prüfungsart: Klausur oder mündliche Prüfung (benotet) Prüfungssprache: Englisch Abweichungen werden zu Beginn der Veranstaltung bekannt gegeben.				
Dauer	Ein Semester				
Häufigkeit des Angebots	Jährlich im Sommersemester				
Literatur:	Wird in der Veranstaltung bekannt gegeben.				

Modultitel:	Introduction to Supersymmetry and Supergravity
Modulnummer/-kürzel:	PHY-MV-T206
Verwendbarkeit, Modultyp und Zuordnung zum Curriculum	Physik (M.Sc.): Wahlpflichtmodul (AP, TP) Physics (M.Sc.): Wahlpflichtmodul (AP, TP) Mathematical Physics (M.Sc.): Wahlpflichtmodul
Voraussetzungen für die Teilnahme:	<u>Verbindlich:</u> Keine <u>Empfohlen:</u> Theoretische Physik I und II (B.Sc.)
Modulverantwortliche(r):	Prof. Dr. Gudrid Moortgat-Pick
Lehrende:	Mitglieder des Lehrkörpers aus dem Fachbereich Physik
Sprache:	Englisch
Qualifikationsziele:	Nach erfolgreichem Abschluss des Moduls kennen die Studierenden die mathematische Struktur von Supersymmetrie. Sie 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>After successful completion of the module, students know the mathematical structure of supersymmetry. They 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:	- 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 - <i>Introduction to the principles of supersymmetry and supergravity</i> - <i>Supersymmetry algebra and its representation theory</i> - <i>Supersymmetric Yang-Mills Theories</i> - <i>The supersymmetric standard model</i> - <i>Extended supersymmetry and Seiberg-Witten theory</i> - <i>Supergravity and its coupling to matter.</i> - <i>Extended supergravities and their geometric properties</i> - <i>Supersymmetry and supergravity in arbitrary dimensions</i>				
Lehrveranstaltungen und Lehrformen:	Introduction to Supersymmetry and Supergravity (V): Exercises in Introduction to Supersymmetry and Supergravity (Ü):			4 SWS 2 SWS	
Arbeitsaufwand* (Teilleistungen und insgesamt)		LP	P (Std)	S (Std)	PV (Std)
	Introduction to Supersymmetry and Supergravity (V):	6	56	62	62
	Exercises in Introduction to Supersymmetry and Supergravity (Ü):	2	28	32	0
	Gesamtaufwand	8	84	94	62
Studien- /Prüfungsleistungen	Voraussetzungen: keine Prüfungsart: Klausur oder mündliche Prüfung (benotet) Prüfungssprache: Englisch Abweichungen werden zu Beginn der Veranstaltung bekannt gegeben.				
Dauer	Ein Semester				
Häufigkeit des Angebots	Jährlich im Wintersemester				
Literatur:	Weinberg, S, Quantum Field Theory 3, Supersymmetry				

Modultitel:	Phenomenology of Physics beyond the Standard Model
Modulnummer/-kürzel:	PHY-MV-T207
Verwendbarkeit, Modultyp und Zuordnung zum Curriculum	Physik (M.Sc.): Wahlpflichtmodul (AP, TP) Physics (M.Sc.): Wahlpflichtmodul (AP, TP)
Voraussetzungen für die Teilnahme:	<u>Verbindlich:</u> Keine <u>Empfohlen:</u> Quantenmechanik (B.Sc.), Kern- und Teilchenphysik (B.Sc.), Quantum Field Theory I, Advanced Particle Physics or Physics of the Standard Model
Modulverantwortliche(r):	Prof. Dr. Gudrid Moortgat-Pick

Lehrende:	Mitglieder des Lehrkörpers aus dem Fachbereich Physik				
Sprache:	Englisch				
Qualifikationsziele:	Nach erfolgreichem Abschluss des Moduls sind die Studierenden in der Lage, offene Fragestellungen des Standardmodells zu erläutern und zentrale Erweiterungen der Theorie einzuordnen. Sie können phänomenologische Modelle und effektive Theorien analysieren, relevante Observablen für Beschleuniger- und Nicht-Beschleunigerexperimente identifizieren und experimentelle Signaturen von Physik jenseits des Standardmodells kritisch bewerten. <i>After successful completion of the module, students will be able to explain open questions of the Standard Model and classify central extensions of the theory. They can analyze phenomenological models and effective theories, identify relevant observables for accelerator and non-accelerator experiments, and critically assess experimental signatures of physics beyond the Standard Model.</i>				
Inhalt:	Phänomenologie an Beschleunigern für verschiedene Modelle der Physik jenseits des Standardmodells, Supersymmetrie, Extra Dimension Modelle, Modelle mit extra Eichbosonen und erweitertem Higgs Sektor, 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. <i>Phenomenology at accelerators for different models of physics beyond the Standard Model, supersymmetry, extra dimension model-le, models with extra gauge bosons and extended Higgs sector, 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>				
Lehrveranstaltungen und Lehrformen:	Phenomenology of Physics beyond the Standard Model (V): Exercises in Phenomenology of Physics beyond the Standard Model (Ü):				4 SWS 2 SWS
Arbeitsaufwand* (Teilleistungen und insgesamt)		LP	P (Std)	S (Std)	PV (Std)
	Phenomenology of Physics beyond the Standard Model (V):	6	56	62	62
	Exercises in Phenomenology of Physics beyond the Standard Model (Ü):	2	28	32	0
	Gesamtaufwand	8	84	94	62
Studien- /Prüfungsleistungen	Voraussetzungen: Keine Prüfungsart: Klausur oder mündliche Prüfung (benotet) Prüfungssprache: Englisch Abweichungen werden zu Beginn der Veranstaltung bekannt gegeben.				
Dauer	Ein Semester				
Häufigkeit des Angebots	Jährlich im Wintersemester				

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:	Physics of the Standard Model				
Modulnummer/-kürzel:	PHY-MV-T208				
Verwendbarkeit, Modultyp und Zuordnung zum Curriculum	Physik (M.Sc.): Wahlpflichtmodul (AP, TP) Physik (M.Sc.): Wahlpflichtmodul (AP, TP)				
Voraussetzungen für die Teilnahme:	<u>Verbindlich:</u> Keine <u>Empfohlen:</u> Quantenmechanik (B.Sc.), Kern- und Teilchenphysik (B.Sc.), 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:	Nach erfolgreichem Abschluss des Moduls kennen die Studierenden die Struktur des Standardmodells (QCD und elektroschwacher Sektor, Higgs Mechanismus). Sie 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. <i>After successful completion of the module, the students know the structure of the Standard Model (QCD and electroweak sector, Higgs mechanism). They 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>				
Inhalt:	Yang-Mills Theorien, QCD-Phänomenologie, Renormierung, Verknüpfung von Kopplungen, elektroschwache Wechselwirkungen, Higgs-Mechanismus, Collider-Phänomenologie, Monte Carlo Simulation, Flavourphysik, CKM-Matrix, CP-Verletzung, Neutrinophysik und Oszillationen, Anomalien, BL, starker CP, Nachteile des Standardmodells. <i>Yang-Mills theories, QCD phenomenology, renormalisation, linking couplings, electroweak interactions, Higgs mechanism, collider phenomenology, Monte Carlo simulation, flavour physics, CKM matrix, CP violation, neutrino physics and oscillations, anomalies, BL, strong CP, drawbacks of the Standard Model.</i>				
Lehrveranstaltungen und Lehrformen:	Physics of the Standard Model (V): Exercises in Physics of the Standard Model (Ü):				4 SWS 2 SWS
Arbeitsaufwand*		LP	P (Std)	S (Std)	PV (Std)
	Physics of the Standard Model (V):	6	56	62	62

(Teilleistungen und insgesamt)	Exercises in Physics of the Standard Model (Ü):	2	28	32	0
	Gesamtaufwand	8	84	94	62
Studien-/Prüfungsleistungen	Voraussetzungen: Keine Prüfungsart: Klausur oder mündliche Prüfung (benotet) Prüfungssprache: Englisch Abweichungen werden zu Beginn der Veranstaltung bekannt gegeben.				
Dauer	Ein Semester				
Häufigkeit des Angebots	Jährlich im Sommersemester				
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:	Quantum Field Theory I
Modulnummer/-kürzel:	PHY-MV-T209
Verwendbarkeit, Modultyp und Zuordnung zum Curriculum	Physik (M.Sc.): Wahlpflichtmodul (AP, TP) Physics (M.Sc.): Wahlpflichtmodul (AP, TP) Mathematical Physics (M.Sc.): Wahlpflichtmodul
Voraussetzungen für die Teilnahme:	<u>Verbindlich:</u> Keine <u>Empfohlen:</u> Theoretische Physik I und II (B.Sc.)
Modulverantwortliche(r):	Prof. Dr. Gleb Arutyunov
Lehrende:	Mitglieder des Lehrkörpers aus dem Fachbereich Physik
Sprache:	Englisch oder Deutsch
Qualifikationsziele:	Nach erfolgreichem Abschluss des Moduls können die Studierenden grundlegende Konzepte der Quantenfeldtheorie erläutern, kanonische und pfadintegralbasierte Quantisierungsverfahren anwenden, Symmetrien und Erhaltungsgrößen identifizieren, Feynman-Regeln ableiten sowie Streuprozesse und Korrelationsfunktionen mithilfe von Feynman-Diagrammen berechnen und interpretieren. <i>After successful completion of the module, students are able to explain fundamental concepts of quantum field theory, apply canonical and path integral quantisation methods, identify symmetries and conserved quantities, derive Feynman rules, and compute and interpret scattering processes and correlation functions using Feynman diagrams.</i>
Inhalt:	- Kanonische Quantisierung bosonischer und fermionischer Felder - Pfadintegralquantisierung - Symmetrien in der Quantenfeldtheorie - Funktionalmethoden und erzeugendes Funktional - Korrelationsfunktionen - Störungstheorie und Feynman-Diagramme

	- Renormierungsverfahren (Überblick) - Nicht-abelsche Eichtheorien (Überblick) - Übungsbasierte Anwendungen - <i>Canonical quantisation of bosonic and fermionic fields</i> - <i>Path integral quantisation methods</i> - <i>Symmetries in quantum field theory</i> - <i>Functional methods and generating functionals</i> - <i>Correlation functions</i> - <i>Perturbation theory and Feynman diagrams</i> - <i>Renormalisation techniques (overview)</i> - <i>Non-Abelian gauge theories (overview)</i> - <i>Exercise-based applications</i>				
Lehrveranstaltungen und Lehrformen:	Quantum Field Theory I (V): Exercises in Quantum Field Theory I (Ü):				4 SWS 2 SWS
Arbeitsaufwand* (Teilleistungen und insgesamt)		LP	P (Std)	S (Std)	PV (Std)
	Quantum Field Theory I (V):	6	56	62	62
	Exercises in Quantum Field Theory I (Ü):	2	28	32	0
	Gesamtaufwand	8	84	94	62
Studien- /Prüfungsleistungen	Voraussetzungen: Keine Prüfungsart: Klausur oder mündliche Prüfung (benotet) Prüfungssprache: Englisch oder Deutsch Abweichungen werden zu Beginn der Veranstaltung bekannt gegeben.				
Dauer	Ein Semester				
Häufigkeit des Angebots	Jährlich im Wintersemester				
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:	Quantum Field Theory II
Modulnummer/-kürzel:	PHY-MV-T210
Verwendbarkeit, Modultyp und Zuordnung zum Curriculum	Physik (M.Sc.): Wahlpflichtmodul (AP, TP) Physics (M.Sc.): Wahlpflichtmodul (AP, TP) Mathematical Physics (M.Sc.): Wahlpflichtmodul
Voraussetzungen für die Teilnahme:	<u>Verbindlich:</u> Keine <u>Empfohlen:</u> Theoretische Physik I (BSc) und II (BSc), Quantenfeldtheorie I
Modulverantwortliche(r):	Prof. Dr. Gleb Arutyunov
Lehrende:	Mitglieder des Lehrkörpers aus dem Fachbereich Physik
Sprache:	Englisch oder Deutsch

Qualifikationsziele:	Nach erfolgreichem Abschluss des Moduls können die Studierenden fortgeschrittene Konzepte der Quantenfeldtheorie erläutern, Renormierungstechniken und Renormierungsgruppen anwenden, nicht-abelsche Eichtheorien kovariant quantisieren, spontane Symmetriebrechung analysieren sowie physikalische Konsequenzen wie asymptotische Freiheit und Higgs-Mechanismus fachlich einordnen. <i>After successful completion of the module, students are able to explain advanced concepts of quantum field theory, apply renormalisation techniques and renormalisation group methods, covariantly quantise non-Abelian gauge theories, analyze spontaneous symmetry breaking, and interpret physical consequences such as asymptotic freedom and the Higgs mechanism.</i>				
Inhalt:	- Renormierungstechniken in der Quantenfeldtheorie - Nicht-abelsche Eichtheorien - Kovarianten Quantisierungsmethoden - Spontane Symmetriebrechung - Topologische Lösungen in der Quantenfeldtheorie - Übungsbasierte Anwendungen - <i>Renormalisation techniques in quantum field theory</i> - <i>Non-Abelian gauge theories</i> - <i>Covariant quantisation methods</i> - <i>Spontaneous symmetry breaking</i> - <i>Topological solutions in quantum field theory</i> - <i>Exercise-based applications</i>				
Lehrveranstaltungen und Lehrformen:	Quantum Field Theory II (V): Exercises in Quantum Field Theory II (Ü):				4 SWS 2 SWS
Arbeitsaufwand* (Teilleistungen und insgesamt)		LP	P (Std)	S (Std)	PV (Std)
	Quantum Field Theory II (V):	6	56	62	62
	Exercises in Quantum Field Theory II (Ü):	2	28	32	0
	Gesamtaufwand	8	84	94	62
Studien-/Prüfungsleistungen	Voraussetzungen: Keine Prüfungsart: Klausur oder mündliche Prüfung (benotet) Prüfungssprache: Englisch oder Deutsch Abweichungen werden zu Beginn der Veranstaltung bekannt gegeben.				
Dauer	Ein Semester				
Häufigkeit des Angebots	Jährlich im Sommersemester				
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:	Quantum Chromodynamics (Advanced Topics in Particle Physics)
Modulnummer/-kürzel:	PHY-MV-T211

Verwendbarkeit, Modultyp und Zuordnung zum Curriculum	Physik (M.Sc.): Wahlpflichtmodul (AP, TP) Physics (M.Sc.): Wahlpflichtmodul (AP, TP) Mathematical Physics (M.Sc.): Wahlpflichtmodul				
Voraussetzungen für die Teilnahme:	<u>Verbindlich:</u> Keine <u>Empfohlen:</u> Grundkenntnisse der Teilchenphysik, Quantenfeldtheorie I				
Modulverantwortliche(r):	Prof. Dr. Gudrid Moortgat-Pick				
Lehrende:	Mitglieder des Lehrkörpers aus dem Fachbereich Physik				
Sprache:	Englisch oder Deutsch				
Qualifikationsziele:	Nach erfolgreichem Abschluss des Moduls kennen die Teilnehmer 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. <i>After successful completion of the module, 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>				
Inhalt:	- Symmetrien der QCD und ihre Folgen - Störungstheorie, Renormalisierung und die laufende Kopplung - Konzepte und Werkzeuge zur Beschreibung der QCD in Experimenten mit hoher Energie. - <i>Symmetries of QCD and their consequences</i> - <i>Perturbation theory, renormalisation and the ongoing coupling.</i> - <i>Concepts and tools for describing QCD in high energy experiments.</i>				
Lehrveranstaltungen und Lehrformen:	Quantum Chromodynamics (Advanced Topics in Particle Physics) (V):				2 SWS
Arbeitsaufwand* (Teilleistungen und insgesamt)		LP	P (Std)	S (Std)	PV (Std)
	Quantum Chromodynamics (Advanced Topics in Particle Physics) (V):	3	28	32	30
	Gesamtaufwand	3	28	32	30
Studien-/Prüfungsleistungen	Voraussetzungen: Keine Prüfungsart: Klausur oder mündliche Prüfung (benotet) Prüfungssprache: Englisch oder Deutsch Abweichungen werden zu Beginn der Veranstaltung bekannt gegeben.				
Dauer	Ein Semester				
Häufigkeit des Angebots	i. d. R. alle zwei Jahre im Wintersemester				
Literatur:	- J. Collins, Foundations of Perturbative QCD, Cambridge University Press, 2011 - G. Sterman, An Introduction to Quantum Field Theory, Cambridge University Press, 1993				

Modultitel:	Renormalisation of Spontaneously Broken Gauge Theories and Related Phenomenological Aspects				
Modulnummer/-kürzel:	PHY-MV-T212				
Verwendbarkeit, Modultyp und Zuordnung zum Curriculum	Physik (M.Sc.): Wahlpflichtmodul Physics (M.Sc.): Wahlpflichtmodul				
Voraussetzungen für die Teilnahme:	<u>Verbindlich:</u> Keine <u>Empfohlen:</u> Vorlesungen Theoretische Physik I und II, Advanced Particle Physics, empfohlen nach QFT 1				
Modulverantwortliche(r):	Georg Weiglein				
Lehrende:	Mitglieder des Lehrkörpers aus dem Fachbereich Physik				
Sprache:	Englisch				
Qualifikationsziele:	Der Kurs dient der Vertiefung des Verstaendnisses von QFT und der Renormierung von Eich-Theorien und der konsistenten Behandlung von instabilen, massiven Teilchen. Er ist eine wichtige Grundlage fuer Untersuchungen vom Standard Model, sowie auch von Erweiterungen des Standard Modells, auf Quantum Niveau. <i>Students should deepen the understanding of QFT and the renormalisation of gauge theories; Consistent treatment of unstable particles; Preparation for investigating the SM and BSM Physics at the quantum level.</i>				
Inhalt:	QFT; LSZ Formalismus; Behandlung von instabilen Teilchen in QFT; Komplexes Pol Schema; On-shell-, MSbar- und DRbar Renormierungs-schemata; Feld Renormierung instabiler Teilchen; Endliche Wellenfunktionen Normierungsfaktoren, Vakuum Erwartungswerte und Tadpole. <i>QFT; LSZ formalism; Treatment of unstable particles in QFT; Complex Pole Scheme; On-shell-, MSbar- and DRbar-renormalisation schemes; Field renormalisation of unstable particles; Finite wave function normalisation factors; Vacuum expectation values and tadpoles.</i>				
Lehrveranstaltungen und Lehrformen:	Renormalisation of Spontaneously Broken Gauge Theories and Related Phenomenological Aspects (V):				2 SWS
Arbeitsaufwand* (Teilleistungen und insgesamt)		LP	P (Std)	S (Std)	PV (Std)
	Renormalisation of Spontaneously Broken Gauge Theories and Related Phenomenological Aspects (V):	3	28	31	31
	Gesamtaufwand	3	28	31	31
Studien-/Prüfungsleistungen	Voraussetzungen: Keine Prüfungsart: Mündliche Prüfung (benotet) Prüfungssprache: Englisch Abweichungen werden zu Beginn der Veranstaltung bekannt gegeben.				
Dauer	Ein Semester				

Häufigkeit des Angebots	i. d. R. alle zwei Jahre im Sommersemester
Literatur:	M. Böhm, A. Denner, H. Joos, Gauge Theories of the Strong and Electroweak Interaction J. Collins, Renormalization

Modultitel:	Theoretical Astroparticle Physics and Cosmology
Modulnummer/-kürzel:	PHY-MV-T213
Verwendbarkeit, Modultyp und Zuordnung zum Curriculum	Physik (M.Sc.): Wahlpflichtmodul (AA) Physics (M.Sc.): Wahlpflichtmodul (AA) Mathematical Physics (M.Sc.): Wahlpflichtmodul
Voraussetzungen für die Teilnahme:	<u>Verbindlich:</u> Keine <u>Empfohlen:</u> Quantenmechanik, Kern- und Teilchenphysik (B.Sc.)
Modulverantwortliche(r):	Prof. Dr. Günter Sigl
Lehrende:	Mitglieder des Lehrkörpers aus dem Fachbereich Physik
Sprache:	Englisch oder Deutsch
Qualifikationsziele:	Nach erfolgreichem Abschluss des Moduls können die Studierenden zentrale Konzepte der theoretischen Astroteilchenphysik und Kosmologie erläutern, physikalische Prozesse im frühen Universum analysieren, Modelle zur Entstehung von Materie, Dunkler Materie und kosmischer Strahlung anwenden sowie eigenständig kleinere Forschungsprojekte vorbereiten und bearbeiten. <i>After successful completion of the module, students are able to explain key concepts of theoretical astroparticle physics and cosmology, analyze physical processes in the early Universe, apply models of matter generation, dark matter and cosmic radiation, and independently prepare and carry out small research projects.</i>
Inhalt:	- Expandierendes Universum - Thermische Prozesse im frühen Universum - Primordiale Nukleosynthese - Materie-Antimaterie-Asymmetrie (Leptogenese, Baryogenese) - Dunkle Materie - Kosmische Hintergrundstrahlung - Inflation - Geladene und neutrale kosmische Strahlung (Gammastrahlung, Neutrinos) - Grundlagen der Beschleunigung kosmischer Strahlung - Neutrinoastrophysik - Neutrinooszillationen - <i>Expanding universe</i> - <i>Thermal processes in the early universe</i> - <i>Big Bang nucleosynthesis</i> - <i>Matter–antimatter asymmetry (leptogenesis, baryogenesis)</i> - <i>Dark matter</i> - <i>Cosmic microwave background</i>

	- <i>Inflation</i> - <i>Charged and neutral cosmic radiation (gamma rays, neutrinos)</i> - <i>Basics of cosmic ray acceleration</i> - <i>Neutrino astrophysics</i> - <i>Neutrino oscillations</i>				
Lehrveranstaltungen und Lehrformen:	Theoretical Astroparticle Physics and Cosmology (V):			4 SWS	
	Exercises in Theoretical Astroparticle Physics and Cosmology (Ü):			2 SWS	
Arbeitsaufwand* (Teilleistungen und insgesamt)		LP	P (Std)	S (Std)	PV (Std)
	Theoretical Astroparticle Physics and Cosmology (V):	6	56	62	62
	Exercises in Theoretical Astroparticle Physics and Cosmology (Ü):	2	28	32	0
	Gesamtaufwand	8	84	94	62
Studien- /Prüfungsleistungen	Voraussetzungen: Keine Prüfungsart: Klausur oder mündliche Prüfung (benotet) Prüfungssprache: Englisch oder Deutsch Abweichungen werden zu Beginn der Veranstaltung bekannt gegeben.				
Dauer	Ein Semester				
Häufigkeit des Angebots	i. d. R. jährlich im Sommersemester				
Literatur:	- Günter Sigl: Astroparticle Physics: Theory and Phenomenology, to appear in Atlantis Press/Springer - Steven Weinberg: Gravitation and Cosmology, New York: John Wiley and Sons, 1972. - Steven Weinberg (2008), Cosmology, Oxford University Press - S. Dodelson (2003), Modern Cosmology: Anisotropies and Inhomogeneities in the Universe, Academic Press. - E. W. Kolb and M. S. Turner (1990). The Early Universe, Addison-Wesley. - C. Grupen (2005), Astroparticle Physics. The Universe in the Light of Cosmic Rays, Springer. - T. Stanev (2004), High Energy Cosmic Rays, Springer. - R. Schlickeiser (2002), Cosmic Ray Astrophysics (Astronomy and Astrophysics Library), Springer. - V. S. Berezinsky, S. V. Bulanov, V. A. Dogiel, V. L. Ginzburg, and V. S. Ptuskin (1990), Astrophysics of Cosmic Rays, North-Holland, Amsterdam. - C. Giunti and C. W. Kim (2007), Fundamentals of Neutrino Physics and Astrophysics, Oxford University Press. - R. N. Mohapatra, P. B. Pal (2004), Massive Neutrinos in Physics and Astrophysics, Imperial College Press. - K. Zuber (2003), Neutrino Physics (High Energy Physics, Cosmology and Gravitation), Institute of Physics Publishing. - L. Bergström and A. Goobar (2006) Cosmology and Particle Astrophysics, Springer. - G. G. Raffelt (1996), Stars as Laboratories for Fundamental Physics, University of Chicago Press.				

Modultitel:	Theory of General Relativity				
Modulnummer/-kürzel:	PHY-MV-T214				
Verwendbarkeit, Modultyp und Zuordnung zum Curriculum	Physik (M.Sc.): Wahlpflichtmodul (AA, AP, TP) Physics (M.Sc.): Wahlpflichtmodul (AA, AP, TP) Mathematical Physics (M.Sc.): Wahlpflichtmodul				
Voraussetzungen für die Teilnahme:	<u>Verbindlich:</u> Keine <u>Empfohlen:</u> Klassische Feldtheorie, Quantenmechanik, Kern- und Teilchenphysik (B.Sc.)				
Modulverantwortliche(r):	Prof. Dr. Günter Sigl				
Lehrende:	Mitglieder des Lehrkörpers aus dem Fachbereich Physik				
Sprache:	Englisch				
Qualifikationsziele:	Nach erfolgreichem Abschluss des Moduls können die Studierenden die mathematischen und physikalischen Grundlagen der Allgemeinen Relativitätstheorie erläutern, Einsteinsche Feldgleichungen anwenden, Lösungen wie die Schwarzschild-Metrik analysieren sowie relativistische Effekte in kosmologischen und astrophysikalischen Kontexten interpretieren. <i>After successful completion of the module, students are able to explain the mathematical and physical foundations of General Relativity, apply Einstein's field equations, analyze solutions such as the Schwarzschild metric, and interpret relativistic effects in cosmological and astrophysical contexts.</i>				
Inhalt:	- Relativitätsprinzipien - Spezielle Relativitätstheorie - Grundlagen der Differentialgeometrie - Einstein-Gleichungen - Schwarzschild-Metrik - Experimentelle Tests der Gravitationstheorie - Gravitationswellen - Grundlagen der Kosmologie und Anwendungen - <i>Principles of relativity</i> - <i>Special relativity</i> - <i>Basics of differential geometry</i> - <i>Einstein field equations</i> - <i>Schwarzschild metric</i> - <i>Experimental tests of gravitation</i> - <i>Gravitational waves</i> - <i>Basics of cosmology and applications</i>				
Lehrveranstaltungen und Lehrformen:	Theory of General Relativity (V): Exercises in Theory of General Relativity (Ü):				4 SWS 2 SWS
Arbeitsaufwand* (Teilleistungen und insgesamt)		LP	P (Std)	S (Std)	PV (Std)
	Theory of General Relativity (V): Exercises in Theory of General Relativity (Ü):	6 2	56 28	62 32	62 0

	Gesamtaufwand	8	84	94	62
Studien- /Prüfungsleistungen	Voraussetzungen: Keine Prüfungsart: Klausur oder mündliche Prüfung (benotet) Prüfungssprache: Englisch Abweichungen werden zu Beginn der Veranstaltung bekannt gegeben.				
Dauer	Ein Semester				
Häufigkeit des Angebots	Jährlich im Wintersemester				
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 the Physics of Medical Imaging (Biomedical Physics I)
Modulnummer/-kürzel:	PHY-MV-E301
Verwendbarkeit, Modultyp und Zuordnung zum Curriculum	Physik (M.Sc.): Wahlpflichtmodul (BP) Physics (M.Sc.): Wahlpflichtmodul (BP) Physics and Chemistry of Nanomaterials (M.Sc.): Wahlpflichtmodul
Voraussetzungen für die Teilnahme:	<u>Verbindlich:</u> Keine <u>Empfohlen:</u> Keine
Modulverantwortliche(r):	Prof. Dr. Erika Garutti; Prof. Dr. Florian Grüner
Lehrende:	Mitglieder des Lehrkörpers aus dem Fachbereich Physik
Sprache:	Englisch
Qualifikationsziele:	Nach erfolgreichem Abschluss des Moduls können die Studierenden die physikalischen Grundlagen moderner medizinischer Bildgebungsverfahren erläutern, Unterschiede und Einsatzgebiete von PET, SPECT, MRI und CT vergleichen, Bildgebungsparameter wie Auflösung und Sensitivität bewerten

	sowie physikalische Konzepte zur Optimierung diagnostischer Verfahren anwenden. <i>After successful completion of the module, students are able to explain the physical principles of modern medical imaging techniques, compare applications of PET, SPECT, MRI and CT, evaluate imaging parameters such as resolution and sensitivity, and apply physical concepts to optimize diagnostic methods.</i>				
Inhalt:	- Grundlagen der medizinischen Bildgebung und Therapie - Physikalische Grenzen medizinischer Bildgebungstechniken - Räumliche Auflösung und Empfindlichkeit in der Bildgebung - Bildgebung von Tumorgewebe und diagnostische Anwendungen - Aktuelle Entwicklungen in medizinischer Bildgebung und Therapie (Journal Club) - Analyse und Diskussion wissenschaftlicher Publikationen - <i>Principles of medical imaging and therapy</i> - <i>Physical limitations of medical imaging techniques</i> - <i>Spatial resolution and sensitivity in medical imaging</i> - <i>Imaging of tumour tissue and diagnostic applications</i> - <i>Current developments in medical imaging and therapy (Journal Club)</i> - <i>Analysis and discussion of scientific publications</i>				
Lehrveranstaltungen und Lehrformen:	Introduction to the Physics of Medical Imaging (V):			2 SWS	
	Exercises in Introduction to the Physics of Medical Imaging (Ü):			2 SWS	
Arbeitsaufwand* (Teilleistungen und insgesamt)		LP	P (Std)	S (Std)	PV (Std)
	Introduction to the Physics of Medical Imaging (V):	3	28	32	30
	Exercises in Introduction to the Physics of Medical Imaging (Ü):	2	28	32	0
	Gesamtaufwand	5	56	64	30
Studien-/Prüfungsleistungen	Voraussetzungen: Keine Prüfungsart: Klausur oder mündliche Prüfung (benotet) Prüfungssprache: Englisch Abweichungen werden zu Beginn der Veranstaltung bekannt gegeben.				
Dauer	Ein Semester				
Häufigkeit des Angebots	Jährlich im Wintersemester				
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:	Introduction to Cellular Biophysics (Biomedical Physics II)
Modulnummer/-kürzel:	PHY-MV-E302
Verwendbarkeit, Modultyp und Zuordnung zum Curriculum	Physik (M.Sc.): Wahlpflichtmodul (BP, FN) Physics (M.Sc.): Wahlpflichtmodul (BP, FN) Physics and Chemistry of Nanomaterials (M.Sc.): Wahlpflichtmodul

Voraussetzungen für die Teilnahme:	<u>Verbindlich:</u> Keine <u>Empfohlen:</u> Keine
Modulverantwortliche(r):	Prof. Dr. Arwen Ruth Pearson
Lehrende:	Mitglieder des Lehrkörpers aus dem Fachbereich Physik
Sprache:	Englisch
Qualifikationsziele:	Nach erfolgreichem Abschluss des Moduls können die Studierenden die biophysikalischen Grundlagen von Makromolekülen, Zellen und Geweben erläutern, zentrale Prozesse wie Zellzyklus, Stoffwechsel und Homöostase analysieren, krankheitsrelevante molekulare Veränderungen bewerten sowie experimentelle Bildgebungs- und Detektionsmethoden in einen physiologischen Kontext einordnen. <i>After successful completion of the module, students are able to explain the biophysical foundations of macromolecules, cells and tissues, analyze key processes such as the cell cycle, metabolism and homeostasis, evaluate disease-related molecular changes, and place imaging and detection methods into a physiological context.</i>
Inhalt:	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. 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. Insbesondere werden folgende Themen im Kurs vorgestellt: - Makromolekulare Struktur und Funktion; - Die Architektur der Zelle; - biologische Homöostase; - Der Zellzyklus; - Stoffwechselwege und Regulierung; - Intra- und Interzellularkommunikation; - Therapeutische Liefermittel. <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> <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> <i>In particular, the following topics will be presented in the course:</i> - Macromolecular structure and function;

	- <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:	Introduction to Cellular Biophysics (V): Journal Club:				2 SWS 2 SWS
Arbeitsaufwand* (Teilleistungen und insgesamt)		LP	P (Std)	S (Std)	PV (Std)
	Introduction to Cellular Biophysics (V):	3	28	32	30
	Journal Club:	2	28	32	0
	Gesamtaufwand	5	56	64	30
Studien- /Prüfungsleistungen	Voraussetzungen: Keine Prüfungsart: Klausur oder mündliche Prüfung (benotet) Prüfungssprache: Englisch Abweichungen werden zu Beginn der Veranstaltung bekannt gegeben.				
Dauer	Ein Semester				
Häufigkeit des Angebots	Jährlich im Sommersemester				
Literatur:	Physical Biology of the Cell, Phillips, Kondev, Theriot & Orme. Garland Scientific.				

Modultitel:	Physics of Radiation Therapy I (Biomedical Physics III)
Modulnummer/-kürzel:	PHY-MV-E303
Verwendbarkeit, Modultyp und Zuordnung zum Curriculum	Physik (M.Sc.): Wahlpflichtmodul (BP, FN) Physics (M.Sc.): Wahlpflichtmodul (BP, FN) Physics and Chemistry of Nanomaterials (M.Sc.): Wahlpflichtmodul
Voraussetzungen für die Teilnahme:	<u>Verbindlich:</u> Keine <u>Empfohlen:</u> Keine
Modulverantwortliche(r):	Prof. Dr. Florian Grüner
Lehrende:	Mitglieder des Lehrkörpers aus dem Fachbereich Physik und FAK Medizin
Sprache:	Englisch
Qualifikationsziele:	Nach erfolgreichem Abschluss des Moduls können die Studierenden die physikalischen Grundlagen des Strahlungstransports erläutern, Wechselwirkungen ionisierender Strahlung mit Materie analysieren, Dosisberechnungen für strahlentherapeutische Anwendungen durchführen sowie die Rolle multimodaler Bildgebung in der Bestrahlungsplanung bewerten. <i>After successful completion of the module, students are able to explain the physical principles of radiation transport, analyze interactions of ionizing radiation with matter, perform dose calculations for radiotherapy applications, and evaluate the role of multimodal imaging in treatment planning.</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. Die Teilnahmen an den Modulen "Biomedical Physics I" und "Biomedical Physics II" sind keine Voraussetzung für dieses Modul. - Wechselwirkungen von Photonen und geladenen Teilchen mit Materie - Strahlungstransport und Monte-Carlo-Methoden - Dosisberechnung in der Strahlentherapie - Grundlagen von CT, PET/SPECT und MRT - Multimodale Bildgebung in der Strahlentherapie - Zielvolumendefinition und Bestrahlungstechniken - Grundlagen der Bestrahlungsplanung <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. Participation in the modules "Biomedical Physics I" and "Biomedical Physics II" are not prerequisites for this module.</i> - <i>Interactions of photons and charged particles with matter</i> - <i>Radiation transport and Monte Carlo methods</i> - <i>Dose calculation in radiotherapy</i> - <i>Basics of CT, PET/SPECT and MRI</i> - <i>Multimodal imaging in radiotherapy</i> - <i>Target volume definition and irradiation techniques</i> - <i>Basics of radiation treatment planning</i>				
Lehrveranstaltungen und Lehrformen:	Physics of Radiation Therapy I (V):				2 SWS
Arbeitsaufwand* (Teilleistungen und insgesamt)		LP	P (Std)	S (Std)	PV (Std)
	Physics of Radiation Therapy I (V):	3	28	32	30
	Gesamtaufwand	3	28	32	30
Studien- /Prüfungsleistungen	Voraussetzungen: Keine Prüfungsart: Mündliche Prüfung (benotet) Prüfungssprache: Englisch Abweichungen werden zu Beginn der Veranstaltung bekannt gegeben.				
Dauer	Ein Semester				
Häufigkeit des Angebots	Jährlich im Wintersemester				
Literatur:	- P. Mayles, A. Nahum, J. C. Rosenwald (Eds.), Handbook of Radiotherapy Physics – Theory and Practice, Taylor & Francis (2007); - M. Goitein, Radiation Oncology: A Physicist's-Eye View, Springer (2008).				

Modultitel:	Physics of Radiation Therapy II (Biomedical Physics IV)
Modulnummer/-kürzel:	PHY-MV-E304

Verwendbarkeit, Modultyp und Zuordnung zum Curriculum	Physik (M.Sc.): Wahlpflichtmodul (BP, FN) Physics (M.Sc.): Wahlpflichtmodul (BP, FN) Physics and Chemistry of Nanomaterials (M.Sc.): Wahlpflichtmodul
Voraussetzungen für die Teilnahme:	<u>Verbindlich:</u> Keine <u>Empfohlen:</u> Keine
Modulverantwortliche(r):	Prof. Dr. Florian Grüner
Lehrende:	Mitglieder des Lehrkörpers aus dem Fachbereich Physik
Sprache:	Englisch
Qualifikationsziele:	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 <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>
Inhalt:	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. 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. Folgende Aspekte werden hier behandelt: - 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 <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> <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 for the dosimetric characterisation of a medical linear accelerator and analyse the results.</i> <i>The following aspects will be covered:</i>

	- <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:	Physics of Radiation Therapy II (V):				2 SWS
Arbeitsaufwand* (Teilleistungen und insgesamt)		LP	P (Std)	S (Std)	PV (Std)
	Physics of Radiation Therapy II (V):	3	28	32	30
	Gesamtaufwand	3	28	32	30
Studien- /Prüfungsleistungen	Voraussetzungen: Keine Prüfungsart: Mündliche Prüfung (benotet) Prüfungssprache: Englisch Abweichungen werden zu Beginn der Veranstaltung bekannt gegeben.				
Dauer	Ein Semester				
Häufigkeit des Angebots	Jährlich im Sommersemester				
Literatur:	- P. Mayles, A. Nahum, J. C. Rosenwald (Eds.), Handbook of Radiotherapy Physics – Theory and Practice, Taylor & Francis (2007); - M. Goitein, Radiation Oncology: A Physicist’s-Eye View, Springer (2008).				

Modultitel:	Artificial Intelligence for Biomedical Imaging
Modulnummer/-kürzel:	PHY-MV-E306
Verwendbarkeit, Modultyp und Zuordnung zum Curriculum	Physik (M.Sc.): Wahlpflichtmodul (BP) Physics (M.Sc.): Wahlpflichtmodul (BP) Physics and Chemistry of Nanomaterials (M.Sc.): Wahlpflichtmodul
Voraussetzungen für die Teilnahme:	<u>Verbindlich:</u> Keine <u>Empfohlen:</u> Keine
Modulverantwortliche(r):	Prof. Dr. René Werner
Lehrende:	Mitglieder des Lehrkörpers aus dem Fachbereich Physik
Sprache:	Englisch
Qualifikationsziele:	Nach erfolgreichem Abschluss des Moduls sind die Studierenden in der Lage, moderne KI-Methoden zur Rekonstruktion, Qualitätsverbesserung und Analyse biomedizinischer Bilddaten anzuwenden. Sie verstehen die physikalischen Grundlagen der Bildentstehung in CT, MRT und Mikroskopie und können geeignete Deep-Learning-Modelle auswählen, implementieren und kritisch bewerten. Zudem sind sie in der Lage, KI-basierte Ergebnisse hinsichtlich Interpretierbarkeit, Generalisierbarkeit und physikalischer Plausibilität einzuordnen.

	<i>After successful completion of the module, students will be able to apply modern AI methods for reconstruction, quality enhancement, and analysis of biomedical imaging data. They will understand the physical principles of image formation in CT, MRI, and microscopy, and be able to select, implement, and critically evaluate suitable deep learning models. Furthermore, they will be able to assess AI-based results with respect to interpretability, generalization, and physical plausibility.</i>				
Inhalt:	- Grundlagen der künstlichen Intelligenz und des maschinellen Lernens - Deep-Learning-Methoden (CNNs, GANs, Backpropagation, Universal Approximation Theorem) - KI-basierte Bildrekonstruktion und -analyse - Anwendungen in Computertomographie und Magnetresonanztomographie - Bildentrauschung und -restauration mit Deep Learning - Computational Superresolution in der Mikroskopie - Grenzen und Zuverlässigkeit KI-basierter Bildgebungsverfahren - Praktische Umsetzung in Python - <i>Fundamentals of artificial intelligence and machine learning</i> - <i>Deep learning methods (CNNs, GANs, backpropagation, universal approximation theorem)</i> - <i>AI-based image reconstruction and analysis</i> - <i>Applications in computed tomography and magnetic resonance imaging</i> - <i>Image denoising and restoration using deep learning</i> - <i>Computational super-resolution in microscopy</i> - <i>Limitations and reliability of AI-based imaging methods</i> - <i>Practical implementation in Python</i>				
Lehrveranstaltungen und Lehrformen:	Artificial Intelligence for Biomedical Imaging (V):			2 SWS	
	Exercises in Artificial Intelligence for Biomedical Imaging (Ü):			2 SWS	
Arbeitsaufwand* (Teilleistungen und insgesamt)		LP	P (Std)	S (Std)	PV (Std)
	Artificial Intelligence for Biomedical Imaging (V):	3	28	32	30
	Exercises in Artificial Intelligence for Biomedical Imaging (Ü):	2	28	32	0
	Gesamtaufwand	5	56	64	30
Studien-/Prüfungsleistungen	Voraussetzungen: Studienleistungen: Regelmäßige und erfolgreiche Teilnahme an Übungen; die Teilnahme gilt als erfolgreich, wenn ein überwiegender Anteil (mindestens 50%) der Übungspunkte erreicht worden ist. Prüfungsart: Mündliche Prüfung (benotet) Prüfungssprache: Englisch Abweichungen werden zu Beginn der Veranstaltung bekannt gegeben.				
Dauer	Ein Semester				
Häufigkeit des Angebots	Jährlich im Sommersemester				
Literatur:	Wird in der Veranstaltung bekannt gegeben.				

Modultitel:	Physics of Biomedical X-ray Fluorescence Imaging
--------------------	---

Modulnummer/-kürzel:	PHY-MV-E309				
Verwendbarkeit, Modultyp und Zuordnung zum Curriculum	Physik (M.Sc.): Wahlpflichtmodul (BP) Physics (M.Sc.): Wahlpflichtmodul (BP) Physics and Chemistry of Nanomaterials (M.Sc.): Wahlpflichtmodul				
Voraussetzungen für die Teilnahme:	<u>Verbindlich:</u> Keine <u>Empfohlen:</u> Keine				
Modulverantwortliche(r):	Prof. Dr. Florian Grüner				
Lehrende:	Mitglieder des Lehrkörpers aus dem Fachbereich Physik				
Sprache:	Englisch				
Qualifikationsziele:	Nach erfolgreichem Abschluss des Moduls verstehen die Studierenden die physikalischen Grundlagen der Röntgenfluoreszenz-Bildgebung im biomedizinischen Kontext. Sie können die Entstehung von Hintergrundsignalen analysieren, Methoden zur Hintergrundreduktion bewerten und die physikalischen Grenzen der Nachweisempfindlichkeit erklären. Darüber hinaus sind sie in der Lage, konventionelle und synchrotronbasierte Bildgebungsansätze zu vergleichen und deren Einsatz in präklinischen und klinischen Anwendungen einzuordnen. <i>After successful completion of the module, students understand the physical principles of X-ray fluorescence imaging in a biomedical context. They are able to analyze the origin of background signals, evaluate background reduction strategies, and explain the physical limits of detection sensitivity. Furthermore, they can compare conventional and synchrotron-based imaging approaches and classify their use in preclinical and clinical applications.</i>				
Inhalt:	- Theoretische Grundlagen der Photon-Materie-Wechselwirkung im Röntgenenergiebereich - Grundlagen der biomedizinischen Röntgenfluoreszenz-Bildgebung - Experimentelle Methoden und aktuelle Studien zur Röntgenfluoreszenz-Bildgebung - Spektraler Hintergrund und Reduktionsmethoden - Nachweisgrenzen und Sensitivitätsoptimierung - Vergleich konventioneller und synchrotronbasierter Röntgenbildgebungsverfahren - Physikalische Grundlagen biomedizinischer und klinischer Anwendungen - <i>Theoretical foundations of photon-matter-interaction in the X-ray energy range</i> - <i>Fundamentals of biomedical X-ray fluorescence imaging</i> - <i>Experimental methods and current studies in X-ray fluorescence imaging</i> - <i>Spectral background noise and reduction techniques</i> - <i>Detection limits and sensitivity optimization</i> - <i>Comparison of conventional and synchrotron-based X-ray imaging approaches</i> - <i>Physical principles of biomedical and clinical applications</i>				
Lehrveranstaltungen und Lehrformen:	Physics of Biomedical X-ray Fluorescence Imaging (V): Exercises in Physics of Biomedical X-ray Fluorescence Imaging (Ü):			4 SWS 2 SWS	
Arbeitsaufwand* (Teilleistungen und insgesamt)		LP	P (Std)	S (Std)	PV (Std)
	Physics of Biomedical X-ray Fluorescence Imaging (V):	6 2	56 28	62 32	62 0

	Exercises in Physics of Biomedical X-ray Fluorescence Imaging (Ü):				
	Gesamtaufwand	8	84	94	62
Studien-/Prüfungsleistungen	Voraussetzungen: Keine Prüfungsart: Klausur oder mündliche Prüfung (benotet) Prüfungssprache: Englisch oder Deutsch Abweichungen werden vor Beginn der Lehrveranstaltung bekannt gegeben.				
Dauer	Ein Semester				
Häufigkeit des Angebots	Jährlich im Sommersemester				
Literatur:	Wird im Kurs bekannt gegeben				

Modultitel:	Programming Course for Biomedical Physics
Modulnummer/-kürzel:	PHY-MV-E310
Verwendbarkeit, Modultyp und Zuordnung zum Curriculum	Physik (M.Sc.): Wahlpflichtmodul (BP) Physics (M.Sc.): Wahlpflichtmodul (BP) Physics and Chemistry of Nanomaterials (M.Sc.): Wahlpflichtmodul
Voraussetzungen für die Teilnahme:	<u>Verbindlich:</u> Keine <u>Empfohlen:</u> Keine
Modulverantwortliche(r):	Prof. Dr. Florian Grüner
Lehrende:	Mitglieder des Lehrkörpers aus dem Fachbereich Physik
Sprache:	Englisch
Qualifikationsziele:	Nach erfolgreichem Absolvieren des Moduls kennen die Studierenden die wesentlichen Konzepte und Programmiersprachen, die in der Forschung zur biomedizinischen Physik verwendet werden, insbesondere für Monte-Carlo-Simulationen bei der Röntgenfluoreszenz-Bildgebung. <i>After successfully completing the module, students will be familiar with the essential concepts and programming languages used in biomedical physics research, particularly for Monte Carlo simulations in X-ray fluorescence imaging.</i>
Inhalt:	In diesem Kurs werden die Studierenden in die Programmiersprachen C++ und Python eingeführt, um selbständig in der Lage zu sein, Monte-Carlo-Codes wie etwa Geant4 für Simulationen zur biomedizinischen Röntgenfluoreszenz-Bildgebung anwenden zu können. Dazu gehört auch, Simulationen auf einem Computer-Cluster durchlaufen zu lassen und mit Python-Programmen die errechneten Daten auszuwerten. Anhand konkreter Beispiele aus der Forschung werden Simulationen aufgesetzt und deren Ergebnisse analysiert. <i>In this course, students are introduced to the programming languages C++ and Python so that they can independently use Monte Carlo codes such as Geant4 for simulations in biomedical X-ray fluorescence imaging. This also includes running simulations on a computer cluster and evaluating the calculated data using Python programs. Simulations are set up and their results analyzed using concrete examples from research.</i>

Lehrveranstaltungen und Lehrformen:	Programming Course for Biomedical Physics (V):				2 SWS
Arbeitsaufwand* (Teilleistungen und insgesamt)		LP	P (Std)	S (Std)	PV (Std)
	Programming Course for Biomedical Physics (V):	3	28	32	30
	Gesamtaufwand	3	28	32	30
Studien- /Prüfungsleistungen	Voraussetzungen: Keine Prüfungsart: Klausur oder mündliche Prüfung (benotet) Prüfungssprache: Englisch oder Deutsch Abweichungen werden vor Beginn der Lehrveranstaltung bekannt gegeben.				
Dauer	Ein Semester				
Häufigkeit des Angebots	Jährlich im Wintersemester				
Literatur:	Wird im Kurs bekannt gegeben				

Modultitel:	Advanced Methods for Surface and Nanostructure Characterization
Modulnummer/-kürzel:	PHY-MV-E401
Verwendbarkeit, Modultyp und Zuordnung zum Curriculum	Physik (M.Sc.): Wahlpflichtmodul (FN) Physics (M.Sc.): Wahlpflichtmodul (FN) Physics and Chemistry of Nanomaterials (M.Sc.): Wahlpflichtmodul
Voraussetzungen für die Teilnahme:	<u>Verbindlich:</u> Keine <u>Empfohlen:</u> Festkörperphysik; Nanostrukturphysik
Modulverantwortliche(r):	Prof. Dr. Andreas Stierle
Lehrende:	Mitglieder des Lehrkörpers aus dem Fachbereich Physik
Sprache:	Englisch
Qualifikationsziele:	Nach erfolgreichem Abschluss des Moduls haben die Studierenden 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. Nach erfolgreichem Absolvieren des Moduls wissen die Studierenden wie mit Röntgen und Elektronenbeugungsmethoden die atomare Struktur von Oberflächen und Nanostrukturen charakterisiert werden können. Sie kennen unterschiedliche Verfahren, um die Morphologie, atomare Struktur oder Nahordnung zu beschreiben. Weiterhin kennen die Studierenden elektronenspektroskopische Methoden, die zur Charakterisierung der chemischen und elektronischen Eigenschaften eingesetzt werden. Abschließend haben sie einen Überblick von ortsauflösenden Rastersondentechniken.

	<i>After successful completion of the module, 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> <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> <i>They know different methods to describe the morphology, atomic structure or near order.</i> <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>				
Inhalt:	I. Röntgenbeugung an Systemen mit reduzierten Dimensionen - Röntgen-Reflexion - Röntgenbeugung unter streifendem Einfall, Kleinwinkelstreuung - Oberflächenröntgenbeugung - Beugung an dünnen Filmen, Vielfachschichten und Nanopartikeln II. Elektronenbeugung an niederdimensionalen Systemen - Beugung niederenergetischer Elektronen - Beugung hochenergetischer Elektronen - Elektronen als lokale Sonde: EXAFS III. Oberflächensensitive Spektroskopie - Photoemissionsspektroskopie - Auger Elektronenspektroskopie IV. Rastersondentechniken - Rastertunnelmikroskopie - Rasterkraftmikroskopie - Rasterelektronenmikroskopie <i>I. X-ray diffraction on systems with reduced dimensions</i> - <i>X-ray reflection</i> - <i>X-ray diffraction under grazing incidence, small angle scattering</i> - <i>Surface X-ray diffraction</i> - <i>Diffraction from thin films, multilayers and nanoparticles</i> <i>II. electron diffraction in low-dimensional systems</i> - <i>Diffraction of low-energy electrons</i> - <i>Diffraction of high energy electrons</i> - <i>Electrons as a local probe: EXAFS</i> <i>III. surface sensitive spectroscopy</i> - <i>Photoemission spectroscopy</i> - <i>Auger electron spectroscopy</i> <i>IV. Scanning probe techniques</i> - <i>Scanning tunneling microscopy</i> - <i>Atomic force microscopy</i> - <i>Scanning electron microscopy</i>				
Lehrveranstaltungen und Lehrformen:	Advanced Methods for Surface and Nanostructure Characterization (V): Exercises in Advanced Methods for Surface and Nanostructure Characterization (Ü):			2 SWS 2 SWS	
Arbeitsaufwand*		LP	P (Std)	S (Std)	PV (Std)

(Teilleistungen und insgesamt)	Advanced Methods for Surface and Nanostructure Characterization (V): Exercises in Advanced Methods for Surface and Nanostructure Characterization (Ü):	3 2	28 28	32 32	30 0
	Gesamtaufwand	5	56	64	30
Studien- /Prüfungsleistungen	Voraussetzungen: Keine Prüfungsart: Klausur oder mündliche Prüfung (benotet) Prüfungssprache: Englisch Abweichungen werden zu Beginn der Veranstaltung bekannt gegeben.				
Dauer	Ein Semester				
Häufigkeit des Angebots	Jährlich im Sommersemester				
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 4. K. Wandelt, surface and interface science, Wiley 5. R. Waser, nanoelectronics and information technology, Wiley 6. E. Mittemeijer, U. Welzel, modern diffraction methods, Wiley				

Modultitel:	Advanced Solid-State Physics
Modulnummer/-kürzel:	PHY-MV-E403
Verwendbarkeit, Modultyp und Zuordnung zum Curriculum	Physik (M.Sc.): Wahlpflichtmodul (FN) Physics (M.Sc.): Wahlpflichtmodul (FN) Physics and Chemistry of Nanomaterials (M.Sc.): Pflichtmodul
Voraussetzungen für die Teilnahme:	<u>Verbindlich:</u> Keine <u>Empfohlen:</u> Physik IV (= Festkörperphysik) oder Nanostrukturphysik A und B (B.Sc.)
Modulverantwortliche(r):	Prof. Dr. Robert H. Blick; Prof. Dr. Michael Rübhausen
Lehrende:	Mitglieder des Lehrkörpers aus dem Fachbereich Physik
Sprache:	Englisch
Qualifikationsziele:	Nach erfolgreichem Abschluss des Moduls haben die Studierenden 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. <i>After successful completion of the module, 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>

Inhalt:	Vertiefung aktueller Themen der Festkörperphysik; Experimentelle Methoden der Festkörperphysik; Zum Stoffumfang gehören: - 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). 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. <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> - <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 (Fermis-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:	Advanced Solid-State Physics (V): Exercises in Advanced Solid-State Physics (Ü):				4 SWS 2 SWS
Arbeitsaufwand* (Teilleistungen und insgesamt)		LP	P (Std)	S (Std)	PV (Std)
	Advanced Solid-State Physics (V): Exercises in Advanced Solid-State Physics (Ü):	6 2	56 28	62 32	62 0
	Gesamtaufwand	8	84	94	62

Studien-/Prüfungsleistungen	Voraussetzungen: Keine Prüfungsart: Klausur oder mündliche Prüfung (benotet) Prüfungssprache: Englisch Abweichungen werden zu Beginn der Veranstaltung bekannt gegeben.
Dauer	Ein Semester
Häufigkeit des Angebots	Jährlich im Sommersemester
Literatur:	Wird in der Veranstaltung bekannt gegeben.

Modultitel:	Application of Synchrotron Radiation in Nanoscience
Modulnummer/-kürzel:	PHY-MV-E404
Verwendbarkeit, Modultyp und Zuordnung zum Curriculum	Physik (M.Sc.): Wahlpflichtmodul (FN, XU) Physics (M.Sc.): Wahlpflichtmodul (FN, XU) Physics and Chemistry of Nanomaterials (M.Sc.): Wahlpflichtmodul
Voraussetzungen für die Teilnahme:	<u>Verbindlich:</u> Keine <u>Empfohlen:</u> Nanochemie I & II, Methoden moderner Röntgenphysik I
Modulverantwortliche(r):	Prof. Dr. Dorota Koziej
Lehrende:	Mitglieder des Lehrkörpers aus dem Fachbereich Physik
Sprache:	Englisch
Qualifikationsziele:	Nach erfolgreichem Abschluss des Moduls können die Studierenden die Eigenschaften der Synchrotronstrahlung erläutern, experimentelle Methoden wie SAXS, Pulverdiffraktometrie und Total Xray scattering beschreiben und anwenden, Messdaten auswerten sowie geeignete Messstrategien für die strukturelle Charakterisierung von Nanopartikeln auswählen und begründen. <i>After successful completion of the module, students are able to explain the properties of synchrotron radiation, describe and apply experimental methods such as SAXS, powder X-ray diffraction and total X-ray scattering, analyze measurement data, and select appropriate experimental strategies for the structural characterization of nanoparticles.</i>
Inhalt:	- Prinzipien und Theorie der Pulver-Röntgendiffraktion (PXRD) - Grundlagen der Kleinwinkel-Röntgenstreuung (SAXS) und zeitaufgelöster Techniken (TS) - Experimentelle Datenerfassung und Analysemethoden - Strahlzeitexperimente am Deutschen Elektronen-Synchrotron (DESY) - Probenpräparation und experimenteller Aufbau - Praktische Messungen in Kleingruppen - Workshop-basierte Auswertung experimenteller Daten - <i>Principles and theory of powder X-ray diffraction (PXRD)</i> - <i>Fundamentals of small-angle X-ray scattering (SAXS) and time-resolved techniques (TS)</i> - <i>Experimental data acquisition and analysis methods</i> - <i>Beamline experiments at Deutsches Elektronen-Synchrotron (DESY)</i> - <i>Sample preparation and experimental setup</i>

	- Hands-on measurements in small student groups - Workshop-based analysis of experimental data				
Lehrveranstaltungen und Lehrformen:	Lectures & E-Learning: Exercises (sample preparation synchrotron experiments, data analysis):				2 SWS 2 SWS
Arbeitsaufwand* (Teilleistungen und insgesamt)		LP	P (Std)	S (Std)	PV (Std)
	Lectures & E-Learning:	3	28	32	30
	Exercises (sample preparation synchrotron experiments, data analysis):	2	28	32	0
	Gesamtaufwand	5	56	64	30
Studien-/Prüfungsleistungen	Voraussetzungen: Keine Prüfungsart: Hausarbeit (benotet) Prüfungssprache: Englisch Abweichungen werden zu Beginn der Veranstaltung bekannt gegeben.				
Dauer	Ein Semester				
Häufigkeit des Angebots	Jährlich im Sommersemester				
Literatur:	To be announced during the course				

Modultitel:	Complex Materials
Modulnummer/-kürzel:	PHY-MV-E405
Verwendbarkeit, Modultyp und Zuordnung zum Curriculum	Physik (M.Sc.): Wahlpflichtmodul (FN) Physics (M.Sc.): Wahlpflichtmodul (FN) Chemistry (M.Sc.): Wahlpflichtmodul Physik and Chemie von Nanomaterialien (B.Sc.): (only 6 Semester, compulsory elective module) Physics and Chemistry of Nanomaterials (M.Sc.): Wahlpflichtmodul
Voraussetzungen für die Teilnahme:	<u>Verbindlich:</u> Keine <u>Empfohlen:</u> Introductory courses in Physical Chemistry, Physics or Nanochemistry
Modulverantwortliche(r):	Prof. Dr. Dorota Koziej, Prof. Dr. Nadja C. Bigall
Lehrende:	Mitglieder des Lehrkörpers aus dem Fachbereich Physik
Sprache:	Englisch oder Deutsch
Qualifikationsziele:	Nach erfolgreichem Abschluss des Moduls können die Studierenden nanoskalige Bausteine gezielt entwerfen und herstellen, die zugrunde liegenden chemischen und physikalischen Prozesse erläutern sowie Konzepte zur hierarchischen Assemblierung funktionaler Materialien anwenden und auf aktuelle Fragestellungen der Nanotechnologie übertragen.

	<i>After successful completion of the module, students are able to design and fabricate nanoscale building blocks, explain the underlying chemical and physical processes, apply concepts of hierarchical assembly of functional materials, and transfer the acquired knowledge to current challenges in nanotechnology.</i>				
Inhalt:	- Synthese von 0D-, 1D-, 2D- und 3D-Bausteinen im Nano- und Mikrometerbereich - Physikalische Eigenschaften von Nanomaterialien (Größenquantisierung, plasmonische Effekte, Superparamagnetismus) - Batch- und Flow-Chemie-Verfahren - Synthesemethoden für anorganische und polymere Nanomaterialien - Assemblierung von Bausteinen zu hierarchischen Strukturen (nm–cm) - Selbstorganisation und gerichtete Assemblierungsstrategien - Dispersionsbasierte Beschichtungsverfahren - 2D- und 3D-Druck von funktionalen Materialien - Herstellung makroskopischer Architekturen (z. B. Aerogele) - Anwendung von Nanomaterialkonzepten auf funktionale Materialien - Praktische Laborumsetzung eigener Projektideen - <i>Synthesis of 0D, 1D, 2D, and 3D nanoscale building blocks (nm–μm)</i> - <i>Physical properties of nanomaterials (size quantization, plasmonic effects, superparamagnetism)</i> - <i>Batch and flow chemistry techniques</i> - <i>Synthesis methods for inorganic and polymeric nanomaterials</i> - <i>Assembly of building blocks into hierarchical structures (nm–cm)</i> - <i>Self-assembly and directed assembly strategies</i> - <i>Dispersion-based coating methods</i> - <i>2D and 3D printing of functional materials</i> - <i>Fabrication of macroscopic architectures (e.g. aerogels)</i> - <i>Application of nanomaterial concepts to functional material design</i> - <i>Practical laboratory implementation of student projects</i>				
Lehrveranstaltungen und Lehrformen:	Complex Materials (V): Project work:				3 SWS 1 SWS
Arbeitsaufwand* (Teilleistungen und insgesamt)		LP	P (Std)	S (Std)	PV (Std)
	Complex Materials (V):	5	42	54	54
	Project work:	1	14	16	0
	Gesamtaufwand	6	56	70	54
Studien-/Prüfungsleistungen	Voraussetzungen: Erfolgreiches Erbringen von Studienleistungen und regelmäßige Teilnahme am Projekt. Prüfungsart: Referat (benotet) Prüfungssprache: Englisch Abweichungen werden zu Beginn der Veranstaltung bekannt gegeben.				
Dauer	Ein Semester				
Häufigkeit des Angebots	Jährlich im Sommersemester				
Literatur:	To be announced during the course				

Modultitel:	Fundamentals of Photovoltaics				
Modulnummer/-kürzel:	PHY-MV-E408				
Verwendbarkeit, Modultyp und Zuordnung zum Curriculum	Physik (M.Sc.): Wahlpflichtmodul (FN) Physics (M.Sc.): Wahlpflichtmodul (FN) Physics and Chemistry of Nanomaterials (M.Sc.): Wahlpflichtmodul				
Voraussetzungen für die Teilnahme:	<u>Verbindlich:</u> Keine <u>Empfohlen:</u> Physik V (B.Sc.)				
Modulverantwortliche(r):	Prof. Dr. Christian Schroer				
Lehrende:	Mitglieder des Lehrkörpers aus dem Fachbereich Physik				
Sprache:	Englisch				
Qualifikationsziele:	Nach erfolgreichem Abschluss des Moduls sind die Studierenden in der Lage, die physikalischen Grundlagen der photovoltaischen Energieumwandlung zu erläutern und auf verschiedene Solarzellkonzepte anzuwenden. Sie können unterschiedliche Solarzelltechnologien hinsichtlich Wirkungsgrad, Materialsystemen und technologischer Umsetzung vergleichen und bewerten. Zudem sind sie befähigt, theoretische, technische und ökonomische Limitierungen der Photovoltaik kritisch einzuordnen und grundlegende Fertigungsprozesse von Solarzellen zu beschreiben. <i>After successful completion of the module, students will be able to explain the physical principles of photovoltaic energy conversion and apply them to different solar cell concepts. They can compare and evaluate various solar cell technologies with respect to efficiency, material systems, and technological implementation. Furthermore, they are able to critically assess theoretical, technical, and economic limitations of photovoltaics and describe basic fabrication processes of solar cells.</i>				
Inhalt:	Es werden folgende Themen behandelt: - Konzept photovoltaischer Energieerzeugung - Theoretische, technische und ökonomische Grenzen der Photovoltaik - Technologie verschiedener Solarzellentypen - Fabrikation von Solarzellen <i>The following topics will be covered:</i> - <i>Concept of photovoltaic energy generation</i> - <i>Theoretical, technical and economic limits of photovoltaics</i> - <i>Technology of different types of solar cells</i> - <i>Fabrication of solar cells</i>				
Lehrveranstaltungen und Lehrformen:	Fundamentals of Photovoltaics (V):				2 SWS
Arbeitsaufwand* (Teilleistungen und insgesamt)		LP	P (Std)	S (Std)	PV (Std)
	Fundamentals of Photovoltaics (V):	3	28	32	30
	Gesamtaufwand	3	28	32	30
Studien-/Prüfungsleistungen	Voraussetzungen: Keine Prüfungsart: Projektabschluss (benotet) Prüfungssprache: Englisch Abweichungen werden zu Beginn der Veranstaltung bekannt gegeben.				

Dauer	Ein Semester
Häufigkeit des Angebots	Jährlich im Sommersemester
Literatur:	Wird in der Veranstaltung bekannt gegeben.

Modultitel:	Methods in Nanobiotechnology I	
Modulnummer/-kürzel:	PHY-MV-E410	
Verwendbarkeit, Modultyp und Zuordnung zum Curriculum	Physik (M.Sc.): Wahlpflichtmodul (BP, FN) Physics (M.Sc.): Wahlpflichtmodul (BP, FN) Physics and Chemistry of Nanomaterials (M.Sc.): Wahlpflichtmodul	
Voraussetzungen für die Teilnahme:	<u>Verbindlich:</u> Keine <u>Empfohlen:</u> Keine	
Modulverantwortliche(r):	Prof. Dr. Wolfgang Parak	
Lehrende:	Mitglieder des Lehrkörpers aus dem Fachbereich Physik	
Sprache:	Englisch	
Qualifikationsziele:	Nach erfolgreichem Abschluss des Moduls kennen die Studierenden 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. <i>After successful completion of the module, 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>	
Inhalt:	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. <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>	
Lehrveranstaltungen und Lehrformen:	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)
	Methods in Nanobiotechnology I (V):	3	28	32	30
	Exercises in Methods in Nanobiotechnology I (Ü):	2	28	32	0
	Practical: Methods in Nanobiotechnology I (P):	2	28	32	0
	Gesamtaufwand	7	84	96	30
Studien- /Prüfungsleistungen	Voraussetzungen: Keine Prüfungsart: Referat (50%) und Praktikumsabschluss (schriftliche Ausarbeitung und Kolloquium, 50%) Prüfungssprache: Englisch Abweichungen werden zu Beginn der Veranstaltung bekannt gegeben.				
	Ein Semester				
Häufigkeit des Angebots	Jährlich im Wintersemester				
Literatur:	Wird in der Veranstaltung bekannt gegeben.				

Modultitel:	Methods in Nanobiotechnology II
Modulnummer/-kürzel:	PHY-MV-E411
Verwendbarkeit, Modultyp und Zuordnung zum Curriculum	Physik (M.Sc.): Wahlpflichtmodul (BP, FN) Physics (M.Sc.): Wahlpflichtmodul (BP, FN) Physics and Chemistry of Nanomaterials (M.Sc.): Wahlpflichtmodul
Voraussetzungen für die Teilnahme:	<u>Verbindlich:</u> Keine <u>Empfohlen:</u> Keine
Modulverantwortliche(r):	Prof. Dr. Wolfgang Parak
Lehrende:	Mitglieder des Lehrkörpers aus dem Fachbereich Physik
Sprache:	Englisch
Qualifikationsziele:	Nach erfolgreichem Abschluss des Moduls haben Studierenden 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. <i>After successful completion of the module, 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>
Inhalt:	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. <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>				
Lehrveranstaltungen und Lehrformen:	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)
	Methods in Nanobiotechnology II (V):	3	28	32	30
	Exercises in Methods in Nanobiotechnology II (Ü):	2	28	32	0
	Practical: Methods in Nanobiotechnology II (P):	2	28	32	0
	Gesamtaufwand	7	84	96	30
Studien- / Prüfungsleistungen	Voraussetzungen: Keine Prüfungsart: Referat (50%) und Praktikumsabschluss (schriftliche Ausarbeitung und Kolloquium, 50%) Prüfungssprache: Englisch Abweichungen werden zu Beginn der Veranstaltung bekannt gegeben.				
Dauer	Ein Semester				
Häufigkeit des Angebots	Jährlich im Sommersemester				
Literatur:	Wird in der Veranstaltung bekannt gegeben.				

Modultitel:	Modern Molecular Physics
Modulnummer/-kürzel:	PHY-MV-E412
Verwendbarkeit, Modultyp und Zuordnung zum Curriculum	Physik (M.Sc.): Wahlpflichtmodul (FN) Physics (M.Sc.): Wahlpflichtmodul (FN)
Voraussetzungen für die Teilnahme:	<u>Verbindlich:</u> Keine <u>Empfohlen:</u> Quantenmechanik, Einführung in die Atom-, Molekular- und Laserphysik und Quantenoptik (B.Sc.)
Modulverantwortliche(r):	Prof. Dr. Jochen Küpper
Lehrende:	Mitglieder des Lehrkörpers aus dem Fachbereich Physik

Sprache:	Englisch				
Qualifikationsziele:	Nach erfolgreichem Abschluss des Moduls kennen die Studierenden 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>After successful completion of the module, 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:	- Einführung in moderne Experimente der Molekularphysik - Einführung in die Quantenmechanik für Moleküle - Wechselwirkung klassischer Lichtfelder mit Molekülen - Grundlagen der molekularen elektronischen Struktur und Spektroskopie - Grundlagen der molekularen Rotations-Schwingungs-Dynamik - Kontrolle der molekularen Translationsbewegung - Kontrolle und Bildgebung von Molekülrotationen und -schwingungen - Techniken zur Zuführung makromolekularer Proben - Wissenschaft an FELs und Synchrotrons, diffraktive Bildgebung - <i>Introduction to modern physics experiments in molecular physics</i> - <i>Introduction to quantum mechanics for molecules</i> - <i>Interaction of classical light fields with molecules</i> - <i>Basics of molecular electronic structure and spectroscopy</i> - <i>Basics of molecular rotational-vibrational dynamics</i> - <i>Control of molecular translational motion</i> - <i>Control and imaging of molecular rotations and vibrations</i> - <i>Macromolecular sample delivery techniques</i> - <i>Science at FELs and synchrotrons, diffractive imaging</i>				
Lehrveranstaltungen und Lehrformen:	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)
	Modern Molecular Physics (V):	3	28	32	30
	Exercises in Modern Molecular Physics (Ü):	1	14	16	0
	Gesamtaufwand	4	42	48	30
Studien-/Prüfungsleistungen	Voraussetzungen: Keine Prüfungsart: Klausur oder mündliche Prüfung (benotet) Prüfungssprache: Englisch oder Deutsch Abweichungen werden zu Beginn der Veranstaltung bekannt gegeben.				
Dauer	Ein Semester				
Häufigkeit des Angebots	Jährlich im Wintersemester				
Literatur:	Wird in der Veranstaltung bekannt gegeben.				

Modultitel:	Modern Molecular Physics – Clusterphysics
Modulnummer/-kürzel:	PHY-MV-E413
Verwendbarkeit, Modultyp und Zuordnung zum Curriculum	Physik (M.Sc.): Wahlpflichtmodul (FN, XU) Physics (M.Sc.): Wahlpflichtmodul (FN, XU)
Voraussetzungen für die Teilnahme:	<u>Verbindlich:</u> Keine <u>Empfohlen:</u> Keine
Modulverantwortliche(r):	PD Dr. Michael Martins
Lehrende:	Mitglieder des Lehrkörpers aus dem Fachbereich Physik
Sprache:	Englisch oder Deutsch
Qualifikationsziele:	Nach erfolgreichem Abschluss des Moduls haben die Studierenden Kenntnisse über die Grundlagen, Anwendungen und den wissenschaftlichen Stand der Forschung an Clustern, sowie das Wissen zur Berechnung geometrischer und elektronischer Strukturen kleiner Cluster. 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. Die Studierenden können geometrische und elektronische Strukturen kleiner Cluster berechnen, die sie durch die Übungen zur Einführung in die quantenchemische Rechnung ermöglicht wurden. <i>After successful completion of the module, 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. 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. 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>
Inhalt:	- Einführung in die Clusterphysik: Was sind Cluster? - Grundlagen quantenchemischer Methoden - Experimentelle Methoden der Cluster-, Molekül, und Ionenphysik - Bindungen in Clustern - Elektronische und magnetische Eigenschaften von Cluster - Chemische Eigenschaften und Katalyse - Kohlenstoffcluster, Fullerene und Nanotubes - <i>Introduction to cluster physics: What are clusters?</i> - <i>Fundamentals of quantum chemical methods</i> - <i>Experimental methods of cluster, molecule, and ion physics</i> - <i>Bonds in clusters</i> - <i>Electronic and magnetic structure of clusters</i> - <i>Chemical properties and catalysis</i> - <i>Carbon clusters, fullerenes and nanotubes</i>

Lehrveranstaltungen und Lehrformen:	Modern Molecular Physics - Clusterphysics (V): Exercises in Modern Molecular Physics - Clusterphysics (Ü):				2 SWS 2 SWS
Arbeitsaufwand* (Teilleistungen und insgesamt)		LP	P (Std)	S (Std)	PV (Std)
	Modern Molecular Physics - Clusterphysics (V):	3	28	32	30
	Exercises in Modern Molecular Physics - Clusterphysics (Ü):	2	28	32	0
	Gesamtaufwand	5	56	64	30
Studien- /Prüfungsleistungen	Voraussetzungen: Keine Prüfungsart: Klausur oder mündliche Prüfung (benotet) Prüfungssprache: Englisch oder Deutsch Abweichungen werden zu Beginn der Veranstaltung bekannt gegeben.				
Dauer	Ein Semester				
Häufigkeit des Angebots	Jährlich im Sommersemester				
Literatur:	Umfangreiches Folienskript				

Modultitel:	Nanostructure Physics I
Modulnummer/-kürzel:	PHY-MV-E414
Verwendbarkeit, Modultyp und Zuordnung zum Curriculum	Physik (M.Sc.): Wahlpflichtmodul (FN) Physics (M.Sc.): Wahlpflichtmodul (FN) Physics and Chemistry of Nanomaterials (M.Sc.): Wahlpflichtmodul Physik und Chemie von Nanomaterialien (B.Sc.): Wahlpflichtmodul
Voraussetzungen für die Teilnahme:	<u>Verbindlich:</u> Keine <u>Empfohlen:</u> Nanostrukturphysik A oder Physik IV (= Festkörperphysik)
Modulverantwortliche(r):	Prof. Dr. Dorota Koziej
Lehrende:	Mitglieder des Lehrkörpers aus dem Fachbereich Physik
Sprache:	Englisch
Qualifikationsziele:	Nach erfolgreichem Abschluss des Moduls können die Studierenden die physikalischen Grundlagen von Halbleiter-Nanostrukturen erläutern, Herstellungsverfahren wie PVD und CVD vergleichen, Transportphänomene in niedrigdimensionalen Systemen analysieren sowie Eigenschaften und Anwendungen von 0D-, 1D- und 2D-Nanostrukturen bewerten. <i>After successful completion of the module, students are able to explain the physical foundations of semiconductor nanostructures, compare fabrication methods such as PVD and CVD, analyze transport phenomena in low-dimensional systems, and evaluate properties and applications of 0D, 1D and 2D nanostructures.</i>

Inhalt:	- Grundlagen der Halbleiterphysik und des Ladungsträgertransports - Halbleitergrenzflächen und klassische Halbleiterbauelemente - Herstellungsverfahren (PVD, CVD) für Filme und Heterostrukturen - Mikro- und Nanostrukturierungstechniken - Transport in niedrigdimensionalen Elektronensystemen - Halbleiter-Nanostrukturen (0D, 1D, 2D) und heterostrukturierte Bauelemente - Anwendungen halbleitender Nanostrukturen (optische und energiebezogene Bauelemente) - Graphen und andere zweidimensionale Materialien - <i>Fundamentals of semiconductors and charge carrier transport</i> - <i>Semiconductor interfaces and classical semiconductor devices</i> - <i>Fabrication methods (PVD, CVD) for films and heterostructures</i> - <i>Micro- and nanostructuring techniques</i> - <i>Transport in low-dimensional electron systems</i> - <i>Semiconductor nanostructures (0D, 1D, 2D) and heterostructured devices</i> - <i>Applications of semiconducting nanostructures (optical and energy devices)</i> - <i>Graphene and other two-dimensional materials</i>				
Lehrveranstaltungen und Lehrformen:	Nanostructure Physics I (V): Exercises in Nanostructure Physics I (Ü):			4 SWS 2 SWS	
Arbeitsaufwand* (Teilleistungen und insgesamt)		LP	P (Std)	S (Std)	PV (Std)
	Nanostructure Physics I (V): Exercises in Nanostructure Physics I (Ü):	6 2	56 28	62 32	62 0
	Gesamtaufwand	8	84	94	62
Studien- /Prüfungsleistungen	Voraussetzungen: Keine Prüfungsart: Klausur oder mündliche Prüfung (benotet) Prüfungssprache: Englisch Abweichungen werden zu Beginn der Veranstaltung bekannt gegeben.				
Dauer	Ein Semester				
Häufigkeit des Angebots	Jährlich im Wintersemester				
Literatur:	Wird in der Veranstaltung bekannt gegeben.				

Modultitel:	Nanostructure Physics II: Surface Science and Magnetism
Modulnummer/-kürzel:	PHY-MV-E416
Verwendbarkeit, Modultyp und Zuordnung zum Curriculum	Physik (M.Sc.): Wahlpflichtmodul (FN) Physics (M.Sc.): Wahlpflichtmodul (FN) Physics and Chemistry of Nanomaterials (M.Sc.): Wahlpflichtmodul Physik und Chemie von Nanomaterialien (B.Sc.): Wahlpflichtmodul
Voraussetzungen für die Teilnahme:	<u>Verbindlich:</u> Keine <u>Empfohlen:</u> Quantenphysik/Quantenchemie und Nanostrukturphysik A, B bzw. Physik III (= Quantenphysik & Statistische Physik) und Physik IV (= Festkörperphysik)
Modulverantwortliche(r):	PD Dr. Kirsten von Bergmann, PD Dr. Jens Wiebe

Lehrende:	Mitglieder des Lehrkörpers aus dem Fachbereich Physik				
Sprache:	Englisch oder Deutsch				
Qualifikationsziele:	Nach erfolgreichem Abschluss des Moduls können die Studierenden grundlegende Konzepte der Oberflächenphysik und des Magnetismus in reduzierten Dimensionen erläutern, experimentelle Methoden der Oberflächencharakterisierung und Niedrigtemperaturphysik anwenden und bewerten, magnetische Wechselwirkungen identifizieren sowie komplexe magnetische Zustände und deren Dynamik analysieren und in den Kontext aktueller Forschungsentwicklungen einordnen. <i>After successful completion of the module, students are able to explain fundamental concepts of surface science and magnetism in reduced dimensions, apply and assess experimental methods for surface characterization and low-temperature physics, identify magnetic interactions, and analyze complex magnetic states and their dynamics in the context of current research.</i>				
Inhalt:	- Ultrahochvakuum- und Tieftemperaturtechnologie - Oberflächenstrukturen und Überstrukturen - Oberflächencharakterisierung mit Elektronen- und Photonentechniken - Rastersondenmethoden (spin- und zeitaufgelöst) - Magnetowiderstandseffekte - Komplexe magnetische Ordnung (Spinspiralen, Skyrmionen) - Elektronische Oberflächenstruktur (Oberflächenzustände, Rashba-Effekt) - Dimensionalitätseffekte im Bandmagnetismus - Verallgemeinerte quantenmechanische und semiklassische Heisenberg-Modelle und magnetische Wechselwirkungen - Spin-Bahn-Kopplung im Oberflächenmagnetismus - Magnetisierungsdynamik (Spinwellen, Landau-Lifshitz-Gilbert-Gleichung) - Aktuelle Themen (topologische Isolatoren, magnetische Skyrmionen, topologische Supraleiter, Majorana-Zustände) - <i>Ultra-high-vacuum and low-temperature technology</i> - <i>Surface structures and superstructures</i> - <i>Surface characterization using electron- and photon-based methods</i> - <i>Scanning probe techniques (spin- and time-resolved)</i> - <i>Magnetoresistance effects</i> - <i>Complex magnetic order (including spin spirals, skyrmions)</i> - <i>Surface electronic structure (including surface states, Rashba effect)</i> - <i>Dimensionality effects in band magnetism</i> - <i>Generalized quantum mechanical and semiclassical Heisenberg models and magnetic interactions</i> - <i>Spin-orbit coupling in surface magnetism</i> - <i>Magnetization dynamics (spin waves, Landau-Lifshitz-Gilbert equation)</i> - <i>Current topics (topological insulators, magnetic skyrmions, topological superconductors, Majorana states)</i>				
Lehrveranstaltungen und Lehrformen:	Nanostructure Physics II (V): Exercises in Nanostructure Physics II (Ü):				4 SWS 2 SWS
Arbeitsaufwand* (Teilleistungen und insgesamt)		LP	P (Std)	S (Std)	PV (Std)
	Nanostructure Physics II (V): Exercises in Nanostructure Physics II (Ü):	6 2	56 28	62 32	62 0

	Gesamtaufwand	8	84	94	62
Studien- /Prüfungsleistungen	Voraussetzungen: Erfolgreiche Erbringung von Studienleistungen (60 Prozent der Punkte in den Übungen) Prüfungsart: Klausur oder mündliche Prüfung (benotet) Prüfungssprache: Englisch oder Deutsch Abweichungen werden zu Beginn der Veranstaltung bekannt gegeben.				
Dauer	Ein Semester				
Häufigkeit des Angebots	Jährlich im Sommersemester				

Modultitel:	Nanostructure Physics III: Nano-Bio-Interfaces
Modulnummer/-kürzel:	PHY-MV-E417
Verwendbarkeit, Modultyp und Zuordnung zum Curriculum	Physik (M.Sc.): Wahlpflichtmodul (FN) Physics (M.Sc.): Wahlpflichtmodul (FN) Physics and Chemistry of Nanomaterials (M.Sc.): Wahlpflichtmodul Physik und Chemie von Nanomaterialien (B.Sc.): Wahlpflichtmodul
Voraussetzungen für die Teilnahme:	<u>Verbindlich</u> : Keine <u>Empfohlen</u> : Grundlagen der Physik und Chemie (B.Sc.)
Modulverantwortliche(r):	Prof. Dr. Robert H. Blick
Lehrende:	Mitglieder des Lehrkörpers aus dem Fachbereich Physik
Sprache:	Englisch oder Deutsch
Qualifikationsziele:	Nach erfolgreichem Abschluss des Moduls sind die Studierenden in der Lage, zentrale physikalische und biophysikalische Prozesse an Bio- und Nanogrenzflächen zu erklären und quantitativ zu beschreiben. Sie können Transport-, Wechselwirkungs- und Strukturphänomene an Grenzflächen analysieren und geeignete experimentelle Methoden zur Untersuchung bio-nanophysikalischer Systeme einordnen. Darüber hinaus sind sie befähigt, Anwendungen in Mikrofluidik, Sensorik und Biomedizin physikalisch zu bewerten. <i>After successful completion of the module, students will be able to explain and quantitatively describe key physical and biophysical processes at bio- and nano-interfaces. They can analyze transport, interaction, and structural phenomena at interfaces and classify appropriate experimental methods for studying bio-nanophysical systems. Furthermore, they are able to assess applications in microfluidics, sensing, and biomedicine from a physical perspective.</i>
Inhalt:	I Einführung II Grundlagen - Kraft und Energie - Thermodynamische Potentiale - Diffusion - Debye-Hückel Abschirmung, Zeta-Potential III Bio- und Nanogrenzflächen - 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 VI Anwendungen - Mikrofluidik - Implantatoberflächen in der Forschung - Bioelektronische Devices - Biosensoren und in-vitro/in-vivo Diagnostik - <i>Fundamentals of forces, energy and thermodynamic potentials</i> - <i>Diffusion and electrostatic screening (Debye–Hückel, zeta potential)</i> - <i>Organic and inorganic interfaces</i> - <i>Biophysical interfaces and surface phenomena</i> - <i>Surface tension and osmosis</i> - <i>Cell membranes and ion transport</i> - <i>Electrical properties of cell membranes</i> - <i>Protein structure and conformation</i> - <i>Protein–protein and protein–surface interactions</i> - <i>AFM force spectroscopy</i> - <i>Enzyme catalysis and tunneling effects</i> - <i>Microfluidics applications</i> - <i>Implant surface technologies</i> - <i>Bioelectronic devices</i> - <i>Biosensors and in-vitro/in-vivo diagnostics</i>				
Lehrveranstaltungen und Lehrformen:	Nanostructure Physics III (V):				4 SWS
Arbeitsaufwand* (Teilleistungen und insgesamt)		LP	P (Std)	S (Std)	PV (Std)
	Nanostructure Physics III (V):	6	56	62	62
	Gesamtaufwand	6	56	62	62
Studien- /Prüfungsleistungen	Voraussetzungen: Keine Prüfungsart: Klausur oder mündliche Prüfung (benotet) Prüfungssprache: Englisch oder Deutsch Abweichungen werden zu Beginn der Veranstaltung bekannt gegeben.				
Dauer	Ein Semester				
Häufigkeit des Angebots	Jährlich im Wintersemester				
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, 2nd ed., J.N. Israelachvili, Academic Press, London, 1992.				

	- Biomaterials: Protein–Surface Interactions, R.A. Latour, in Encyclopedia of Biomaterials and Biomedical Engineering, 2005.
--	--

Modultitel:	Nanostructure Physics IV - Nanobiotechnology and Energy Materials				
Modulnummer/-kürzel:	PHY-MV-E418				
Verwendbarkeit, Modultyp und Zuordnung zum Curriculum	Physik (M.Sc.): Wahlpflichtmodul (FN) Physics (M.Sc.): Wahlpflichtmodul (FN) Physics and Chemistry of Nanomaterials (M.Sc.): Wahlpflichtmodul Physik und Chemie von Nanomaterialien (B.Sc.): Wahlpflichtmodul				
Voraussetzungen für die Teilnahme:	<u>Verbindlich:</u> Keine <u>Empfohlen:</u> Keine				
Modulverantwortliche(r):	Prof. Dr. Robert H. Blick; Prof. Dr. Arwen Ruth Pearson				
Lehrende:	Mitglieder des Lehrkörpers aus dem Fachbereich Physik				
Sprache:	Englisch oder Deutsch				
Qualifikationsziele:	Nach erfolgreichem Absolvieren des Moduls können Studierende die wesentlichen Forschungsergebnisse der Anwendung von Nanostrukturen und Nanomaterialien in den Bereich Medizin und Biotechnologie zusammenfassen. Auch hinsichtlich Energiespeicherung und Energieerzeugung mittels Nanomaterialien werden sie entsprechende Kenntnisse besitzen. <i>After successfully completing the module, students will be able to summarize the main research results on the application of nanostructures and nanomaterials in the fields of medicine and biotechnology. Also, regarding energy storage and energy generation using nanomaterials they will have gained basic insights.</i>				
Inhalt:	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. <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>				
Lehrveranstaltungen und Lehrformen:	Nanostructure Physics IV (V): Exercises in Nanostructure Physics IV (Ü):				2 SWS 1 SWS
Arbeitsaufwand* (Teilleistungen und insgesamt)		LP	P (Std)	S (Std)	PV (Std)
	Nanostructure Physics IV (V):	3	28	32	30
	Exercises in Nanostructure Physics IV (Ü):	1	14	16	0
	Gesamtaufwand	4	42	48	30

Studien- /Prüfungsleistungen	Voraussetzungen: Keine Prüfungsart: Klausur oder mündliche Prüfung (benotet) Prüfungssprache: Englisch oder Deutsch Abweichungen werden zu Beginn der Veranstaltung bekannt gegeben.
Dauer	Ein Semester
Häufigkeit des Angebots	Jährlich im Sommersemester
Literatur:	Wird in der Veranstaltung bekannt gegeben.

Modultitel:	Quantum Transport and Experimental Quantum Physics
Modulnummer/-kürzel:	PHY-MV-E420
Verwendbarkeit, Modultyp und Zuordnung zum Curriculum	Physik (M.Sc.): Wahlpflichtmodul (FN) Physics (M.Sc.): Wahlpflichtmodul (FN) Physics and Chemistry of Nanomaterials (M.Sc.): Wahlpflichtmodul
Voraussetzungen für die Teilnahme:	<u>Verbindlich:</u> Keine <u>Empfohlen:</u> Grundlagen der Elektrodynamik und Quantenmechanik (B.Sc.)
Modulverantwortliche(r):	Prof. Dr. Robert H. Blick
Lehrende:	Mitglieder des Lehrkörpers aus dem Fachbereich Physik
Sprache:	Englisch oder Deutsch
Qualifikationsziele:	Nach erfolgreichem Abschluss des Moduls haben die Studierende ein vertieftes Wissen zu den wichtigen Prinzipien der Halbleiter- und Festkörperphysik und grundlegendes zu neuen, exotischen Materiezuständen. Sie besitzen das Verständnis zu wichtigen Quanteneffekte in Festkörpern und deren experimentellen Untersuchungsmethoden. 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. <i>After successful completion of the module, 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> <i>They have an understanding of important quantum effects in solids and their experimental investigation methods.</i> <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 Kelvin and have the necessary basics to be able to work experimentally in the field of quantum transport.</i>

Inhalt:	I Einführung II Grundlagen der Festkörper- und Halbleiterphysik (ca. 15% der VL) Bandstrukturen Eigenschaften der Ladungsträger III Grundlagen der Halbleitertechnologie (ca. 15%) Wachstum von Halbleitern Prozessierung, Strukturierung und Reinraumtechnologien Charakterisierungsmethoden IV Quanteneffekte und Quantentransport (ca. 60%) Transport von Ladungsträgern Wechselwirkungen und Defekte Quantisierung durch Einschlusspotentiale und Magnetfelder Quanten-Hall-Effekte und Graphen Topologische Systeme Quanteneffekte in Nanostrukturen V Messmethoden und Technologien (ca. 10%) Grundlagen der Tieftemperaturphysik (4.2 Kelvin bis Millikelvin-Bereich) Grundlagen der Messdatenaufnahme für Transport bei tiefen Temperaturen (Messmethoden und Datenaufnahme/Programmierung) <i>I Introduction</i> <i>II Fundamentals of solid state and semiconductor physics (approx. 15% of the VL)</i> - <i>band structures</i> - <i>Properties of charge carriers</i> <i>III Fundamentals of semiconductor technology (approx. 15%)</i> - <i>Growth of semiconductors</i> - <i>Processing, structuring and clean room technologies</i> - <i>Characterisation methods</i> <i>IV Quantum effects and quantum transport (approx. 60%)</i> - <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> <i>V Measurement Methods and Technologies (approx. 10%)</i> - <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/pro</i>				
Lehrveranstaltungen und Lehrformen:	Quantum Transport and Experimental Quantum Physics (V): Exercises in Quantum Transport and Experimental Quantum Physics (Ü):			2 SWS	1 SWS
Arbeitsaufwand* (Teilleistungen und insgesamt)		LP	P (Std)	S (Std)	PV (Std)
	Quantum Transport and Experimental Quantum Physics (V):	3	28	32	30
	Exercises in Quantum Transport and Experimental Quantum Physics (Ü):	1	14	8	8
	Gesamtaufwand	4	42	40	38

Studien-/Prüfungsleistungen	Voraussetzungen: Keine Prüfungsart: Referat und mündliche Prüfung (benotet) Prüfungssprache: Englisch oder Deutsch Abweichungen werden zu Beginn der Veranstaltung bekannt gegeben.
Dauer	Ein Semester
Häufigkeit des Angebots	Jährlich im Wintersemester
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:	Computational Many-Body Theory
Modulnummer/-kürzel:	PHY-MV-T401
Verwendbarkeit, Modultyp und Zuordnung zum Curriculum	Physik (M.Sc.): Wahlpflichtmodul (QP, TP, FN) Physics (M.Sc.): Wahlpflichtmodul (QP, TP, FN) Physics and Chemistry of Nanomaterials (M.Sc.): Wahlpflichtmodul
Voraussetzungen für die Teilnahme:	<u>Verbindlich:</u> Keine <u>Empfohlen:</u> Programmierkenntnisse in Python
Modulverantwortliche(r):	Prof. Dr. Martin Eckstein
Lehrende:	Mitglieder des Lehrkörpers aus dem Fachbereich Physik
Sprache:	Englisch
Qualifikationsziele:	Nach erfolgreichem Abschluss des Moduls können die Studierenden moderne numerische Methoden für Vielteilchen-Quantensysteme zielgerichtet auswählen, implementieren und anwenden. Sie sind in der Lage, physikalische Modellprobleme rechnergestützt zu analysieren, numerische Ergebnisse kritisch zu bewerten und diese im Kontext aktueller Forschung zu interpretieren. <i>After successful completion of the module, students are able to select, implement, and apply modern numerical methods for quantum many-body systems. They can analyze physical model problems computationally, critically assess numerical results, and interpret them in the context of current research.</i>
Inhalt:	- Physikalische Modelle wechselwirkender Quantensysteme (Spinmodelle, Hubbard-Modell) - Exakte Diagonalisierungsverfahren - Tensor-Netzwerk-Ansätze (MPS, DMRG) - Quantum-Monte-Carlo-Methoden - Entwicklung prototypischer Simulationsprogramme - Analyse und Interpretation numerischer Ergebnisse - Vergleich mit theoretischen Erwartungen

	- Physical models of interacting quantum systems (spin models, Hubbard model) - Exact diagonalization methods - Tensor network approaches (MPS, DMRG) - Quantum Monte Carlo methods - Development of prototype simulation codes - Analysis and interpretation of numerical results - Comparison with theoretical expectations				
Lehrveranstaltungen und Lehrformen:	Computational Many-Body Theory (V): Exercises in Computational Many-Body Theory(Ü):				2 SWS 2 SWS
Arbeitsaufwand* (Teilleistungen und insgesamt)		LP	P (Std)	S (Std)	PV (Std)
	Computational Many-Body Theory (V): Exercises in Computational Many-Body Theory(Ü):	3 2	28 28	32 32	30 0
	Gesamtaufwand	5	56	64	30
Studien- /Prüfungsleistungen	Voraussetzungen: Keine Prüfungsart: Mündliche Prüfung (benotet) Prüfungssprache: Englisch Abweichungen werden zu Beginn der Veranstaltung bekannt gegeben.				
Dauer	Ein Semester				
Häufigkeit des Angebots	Jährlich im Wintersemester				

Modultitel:	Condensed-Matter Theory
Modulnummer/-kürzel:	PHY-MV-T403
Verwendbarkeit, Modultyp und Zuordnung zum Curriculum	Physik (M.Sc.): Wahlpflichtmodul (TP, FN) Physics (M.Sc.): Wahlpflichtmodul (TP, FN) Physics and Chemistry of Nanomaterials (M.Sc.): Wahlpflichtmodul
Voraussetzungen für die Teilnahme:	<u>Verbindlich:</u> Keine <u>Empfohlen:</u> Keine
Modulverantwortliche(r):	Prof. Dr. Michael Potthoff, Prof. Dr. Tim Wehling
Lehrende:	Mitglieder des Lehrkörpers aus dem Fachbereich Physik
Sprache:	Englisch oder Deutsch
Qualifikationsziele:	Nach erfolgreichem Abschluss des Moduls können die Studierenden zentrale Konzepte der Theorie der kondensierten Materie erläutern und grundlegende theoretische Methoden, wie z.B. Bandstruktur- und Dichtefunktionaltheorie, auf typische Problemstellungen anwenden. Die Studierenden sind in der Lage, kollektive Phänomene, wie Magnetismus und Supraleitung, sowie Korrelationseffekte und Transportprozesse zu identifizieren, einzuordnen und zu analysieren.

	After successfully completing the module, students will be able to explain key concepts in condensed-matter theory and apply fundamental theoretical methods, such as band-structure and density-functional theory, to typical problems. Students will be able to identify, classify, and analyze collective phenomena such as magnetism and superconductivity, as well as correlation effects and transport processes.				
Inhalt:	- Bandstrukturtheorie - Dichtefunktionaltheorie und Mean-Field-Theorie - Elektron-Phonon-Wechselwirkung - Kollektiver Magnetismus - Supraleitung - Korrelationseffekte (Mott-Isolatoren) - Elektronentransport - <i>Band structure theory</i> - <i>Density functional theory and mean-field theory</i> - <i>Electron-phonon interaction</i> - <i>Collective magnetism</i> - <i>Superconductivity</i> - <i>Correlation effects (Mott insulators)</i> - <i>Electron transport</i>				
Lehrveranstaltungen und Lehrformen:	Condensed-Matter Theory (V): Exercises in Condensed-Matter Theory (Ü):				4 SWS 2 SWS
Arbeitsaufwand* (Teilleistungen und insgesamt)		LP	P (Std)	S (Std)	PV (Std)
	Condensed-Matter Theory (V):	6	56	62	62
	Exercises in Condensed-Matter Theory (Ü):	2	28	32	0
	Gesamtaufwand	8	84	94	62
Studien- /Prüfungsleistungen	Voraussetzungen: Keine Prüfungsart: Klausur oder mündliche Prüfung (benotet) Prüfungssprache: Englisch oder Deutsch Abweichungen werden zu Beginn der Lehrveranstaltung bekannt gegeben.				
Dauer	Ein Semester				
Häufigkeit des Angebots	Jährlich im Wintersemester				
Literatur:	Wird in der Veranstaltung bekannt gegeben.				

Modultitel:	Condensed-Matter Theory: Special Topics
Modulnummer/-kürzel:	PHY-MV-T404
Verwendbarkeit, Modultyp und Zuordnung zum Curriculum	Physik (M.Sc.): Wahlpflichtmodul (TP, FN) Physics (M.Sc.): Wahlpflichtmodul (TP, FN) Physics and Chemistry of Nanomaterials (M.Sc.): Wahlpflichtmodul

Voraussetzungen für die Teilnahme:	<u>Verbindlich:</u> Keine <u>Empfohlen:</u> Keine				
Modulverantwortliche(r):	Prof. Dr. Michael Potthoff, Prof. Dr. Tim Wehling				
Lehrende:	Mitglieder des Lehrkörpers aus dem Fachbereich Physik				
Sprache:	Englisch				
Qualifikationsziele:	Nach erfolgreichem Abschluss des Moduls können die Studierenden fortgeschrittene theoretische Methoden der Theorie kondensierter Materie anwenden, moderne Konzepte wie z.B. Nichtgleichgewichtsprozesse und topologische Effekte einordnen sowie aktuelle Forschungsthemen der kondensierten Materie kritisch analysieren. <i>After successfully completing the module, students will be able to apply advanced theoretical methods of condensed-matter theory, classify modern concepts such as non-equilibrium processes and topological effects, and critically analyze current research topics in condensed matter.</i>				
Inhalt:	Moderne Methoden and Themen der Theorie kondensierter Materie, z.B.: - Green-Funktionen und diagrammatische Störungstheorie - Nichtgleichgewichts-Green-Funktionen - Quanten-Monte-Carlo- und Renormierungsgruppenmethoden - Moderne Materialwissenschaft - Spontane Symmetriebrechung - Topologische Eigenschaften der elektronischen Struktur - Transiente Phänomene und Echtzeitdynamik - Transporttheorie <i>Modern Methods and Topics of Condensed-Matter Theory, e.g.:</i> - <i>Green's functions and diagrammatic perturbation theory</i> - <i>Non-equilibrium Green's functions</i> - <i>Quantum Monte-Carlo and renormalization-group methods</i> - <i>Modern materials science</i> - <i>Spontaneous symmetry breaking</i> - <i>Topological properties of electronic structure</i> - <i>Transient phenomena and real-time dynamics</i> - <i>Transport theory</i>				
Lehrveranstaltungen und Lehrformen:	Condensed-Matter Theory: Special Topics (V): Exercises in Condensed-Matter Theory: Special Topics (Ü):				4 SWS 2 SWS
Arbeitsaufwand* (Teilleistungen und insgesamt)		LP	P (Std)	S (Std)	PV (Std)
	Condensed-Matter Theory: Special Topics (V):	6	56	62	62
	Exercises in Condensed-Matter Theory: Special Topics (Ü):	2	28	32	0
	Gesamtaufwand	8	84	94	62
Studien-/Prüfungsleistungen	Voraussetzungen: Keine Prüfungsart: Klausur oder mündliche Prüfung (benotet) Prüfungssprache: Englisch Abweichungen werden zu Beginn der Lehrveranstaltung bekannt gegeben.				

Dauer	Ein Semester
Häufigkeit des Angebots	Jährlich im Sommersemester
Literatur:	Wird in der Veranstaltung bekannt gegeben.

Modultitel:	Nonequilibrium Quantum Statistics and Transport Theory
Modulnummer/-kürzel:	PHY-MV-T405
Verwendbarkeit, Modultyp und Zuordnung zum Curriculum	Physik (M.Sc.): Wahlpflichtmodul (TP, FN) Physics (M.Sc.): Wahlpflichtmodul (TP, FN) Physics and Chemistry of Nanomaterials (M.Sc.): Wahlpflichtmodul
Voraussetzungen für die Teilnahme:	<u>Verbindlich:</u> Keine <u>Empfohlen:</u> Keine
Modulverantwortliche(r):	Prof. Dr. Michael Thorwart
Lehrende:	Mitglieder des Lehrkörpers aus dem Fachbereich Physik
Sprache:	Englisch
Qualifikationsziele:	Nach erfolgreichem Abschluss des Moduls können die Studierenden Quantensysteme weg vom Gleichgewicht mit geeigneten statistischen und transporttheoretischen Methoden modellieren, Relaxations- und Dekohärenzprozesse analysieren, lineare Antwortfunktionen berechnen sowie Quantentransportphänomene in nanoskopischen Systemen theoretisch beschreiben und bewerten. <i>After successful completion of the module, students are able to model nonequilibrium quantum systems using appropriate statistical and transport-theoretical methods, analyze relaxation and decoherence processes, compute linear response functions, and theoretically describe and evaluate quantum transport phenomena in nanoscopic systems.</i>
Inhalt:	- Quantendynamik im Nichtgleichgewicht - System-Bad-Modelle - Langevin-Gleichungen (klassisch und quantenmechanisch) - Fokker-Planck-Gleichung - Boltzmann-Gleichung - Quantenmastergleichungen (Relaxation, Dekohärenz) - Zweite Quantisierung - Freies Elektronengas - Phononen und Elektron-Phonon-Kopplung - Mean-Field-Theorie und Quantentransport - Zeitabhängige Quantentheorie - Kubo-Theorie der linearen Antwort - Landauer-Büttiker-Transporttheorie - Greens-Funktionsmethoden - Quantentransport in Quantendots (Anderson-Modell, Coulomb-Blockade) - <i>Nonequilibrium quantum dynamics</i> - <i>System-bath models</i> - <i>Langevin equations (classical and quantum)</i>

	- Fokker–Planck equation - Boltzmann equation - Quantum master equations (relaxation, decoherence) - Second quantization - Free electron gas - Phonons and electron–phonon interaction - Mean-field theory and quantum transport - Time-dependent quantum theory - Kubo linear response theory - Landauer–Büttiker transport theory - Green's function methods - Quantum transport in quantum dots (Anderson model, Coulomb blockade)				
Lehrveranstaltungen und Lehrformen:	Nonequilibrium Quantum Statistics and Transport Theory (V): Exercises in Nonequilibrium Quantum Statistics and Transport Theory (Ü):				4 SWS 2 SWS
Arbeitsaufwand* (Teilleistungen und insgesamt)		LP	P (Std)	S (Std)	PV (Std)
	Nonequilibrium Quantum Statistics and Transport Theory (V):	6	56	62	62
	Exercises in Nonequilibrium Quantum Statistics and Transport Theory (Ü):	2	28	32	0
	Gesamtaufwand	8	84	94	62
Studien- /Prüfungsleistungen	Voraussetzungen: Keine Prüfungsart: Klausur oder mündliche Prüfung (benotet) Prüfungssprache: Englisch Abweichungen werden zu Beginn der Veranstaltung bekannt gegeben.				
Dauer	Ein Semester				
Häufigkeit des Angebots	Sommersemester (unregelmäßig)				
Literatur:	Part I: Nonequilibrium Quantum Dynamics - Schwabl, Statistische Mechanik (Springer) - Weiss, Quantum Dissipative Systems (World Scientific) - May & Kühn, Charge and Energy Transfer Dynamics in Molecular Systems (Wiley-VCH) Part II: Theory of Quantum Transport - Bruus & Flensberg, Many-Body Quantum Theory in Condensed Matter Physics (Oxford UP) - Nazarov & Blanter, Quantum Transport (Cambridge UP)				

Modultitel:	Quantum Statistics with Path Integrals
Modulnummer/-kürzel:	PHY-MV-T407
Verwendbarkeit, Modultyp und Zuordnung zum Curriculum	Physik (M.Sc.): Wahlpflichtmodul (TP, FN) Physics (M.Sc.): Wahlpflichtmodul (TP, FN) Physics and Chemistry of Nanomaterials (M.Sc.): Wahlpflichtmodul

Voraussetzungen für die Teilnahme:	<u>Verbindlich:</u> Keine <u>Empfohlen:</u> Keine				
Modulverantwortliche(r):	Prof. Dr. Michael Thorwart				
Lehrende:	Mitglieder des Lehrkörpers aus dem Fachbereich Physik				
Sprache:	Englisch				
Qualifikationsziele:	Nach erfolgreichem Abschluss des Moduls können die Studierenden Pfadintegralmethoden zur Beschreibung von Quantenvielteilchensystemen anwenden, Gleichgewichts- und Nichtgleichgewichtsdynamiken modellieren, Relaxations- und Dekohärenzprozesse analysieren sowie theoretische und numerische Methoden zur Behandlung offener Quantensysteme einsetzen. <i>After successful completion of the module, students are able to apply path integral methods to describe quantum many-body systems, model equilibrium and nonequilibrium dynamics, analyze relaxation and decoherence processes, and use theoretical and numerical approaches to study open quantum systems.</i>				
Inhalt:	- Quantenstatistik mit Pfadintegralen - Feynman-Pfadintegral (Real- und Imaginärzeit) - Zweite Quantisierung - Kohärente Zustände für Bosonen und Fermionen - Pfadintegrale für Quantenvielteilchensysteme - Erzeugende Funktionale - Offene Quantensysteme und System-Bad-Modelle - Nichtgleichgewichts-Pfadintegrale (Relaxation, Dekohärenz) - Feynman-Vernon-Influenzfunktional - Dissipativer quantenmechanischer harmonischer Oszillator - Fluktuations-Dissipations-Theorem - Spin-Boson-Modell - Numerische exakte Methoden - <i>Quantum statistics with path integrals</i> - <i>Feynman path integral (real- and imaginary-time)</i> - <i>Second quantization</i> - <i>Coherent states for bosons and fermions</i> - <i>Path integrals for quantum many-body systems</i> - <i>Generating functionals</i> - <i>Open quantum systems and system–bath models</i> - <i>Nonequilibrium path integrals (relaxation, decoherence)</i> - <i>Feynman–Vernon influence functional</i> - <i>Dissipative quantum harmonic oscillator</i> - <i>Fluctuation–dissipation theorem</i> - <i>Spin-boson model</i> - <i>Numerical exact methods</i>				
Lehrveranstaltungen und Lehrformen:	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)
	Quantum Statistics with Path Integrals (V): Exercises in Quantum Statistics with Path Integrals (Ü):	6	56	62	62

		2	28	32	0
	Gesamtaufwand	8	84	94	62
Studien- /Prüfungsleistungen	Voraussetzungen: Keine Prüfungsart: Klausur oder mündliche Prüfung (benotet) Prüfungssprache: Englisch Abweichungen werden zu Beginn der Veranstaltung bekannt gegeben.				
Dauer	Ein Semester				
Häufigkeit des Angebots	i. d. R. alle zwei Jahre im Sommersemester				
Literatur:	- H. Kleinert: Path Integrals in Quantum Mechanics, Statistics and Polymer Physics (World Scientific, Singapore) - U. Weiss: Quantum Dissipative Systems (World Scientific) - A. O. Caldeira: Macroscopic Quantum Phenomena and Quantum Dissipation (Cambridge) - H. Reinhardt, Quantenmechanik 1 und 2 (Oldenbourg Verlag, München 2013) - J.W. Negele, H. Orland, Quantum Many-Particle Systems (Addison-Wesley) - A. A. Abrikosov, L. P. Gorkov, I.E. Dzyaloshinski, Methods of Quantum Field Theory in Statistical Physics (Prentice-Hall)				

Modultitel:	Symmetry Groups in Physics
Modulnummer/-kürzel:	PHY-MV-T409
Verwendbarkeit, Modultyp und Zuordnung zum Curriculum	Physik (M.Sc.): Wahlpflichtmodul (TP, FN) Physics (M.Sc.): Wahlpflichtmodul (TP, FN) Physics and Chemistry of Nanomaterials (M.Sc.): Wahlpflichtmodul Mathematical Physics (M.Sc.): Wahlpflichtmodul
Voraussetzungen für die Teilnahme:	<u>Verbindlich:</u> Keine <u>Empfohlen:</u> Theoretische Physik I (B.Sc.), Theoretische Physik II (B.Sc.)
Modulverantwortliche(r):	Prof. Dr. Michael Potthoff
Lehrende:	Mitglieder des Lehrkörpers aus dem Fachbereich Physik
Sprache:	Englisch oder Deutsch
Qualifikationsziele:	Nach erfolgreichem Abschluss des Moduls sind die Studierenden in der Lage, mathematische Konzepte der Gruppentheorie und Darstellungstheorie in verschiedenen physikalischen Kontexten zu erkennen und physikalische Systeme entsprechend zu beschreiben und zu analysieren. Die Studierenden können diese Konzepte zur Lösung typischer Probleme, z. B. in der Quantenmechanik und der Vielteilchentheorie, anwenden. Die Studierenden verfügen über einen stärker vereinheitlichten Blick auf die theoretische Physik. <i>After successfully completing the module, students will be able to recognize mathematical concepts of group theory and representation theory in various physical contexts and to describe and analyze physical systems accordingly. Students can apply these concepts to solve typical problems, e.g., in quantum</i>

	<i>mechanics and many-body theory. Students will have a more unified view on theoretical physics.</i>				
Inhalt:	- Symmetriekonzepte in der Physik - Grundlegende Konzepte der Gruppentheorie - Symmetriegruppen in der klassischen und der Quantenmechanik - Diskrete Gruppen und Anwendungen in Geometrie und Festkörpertheorie - Gruppenwirkungen und Darstellungstheorie - Topologische Gruppen, Lie-Gruppen und Lie-Algebren - Anwendungen in der Quantentheorie von Vielteilchensystemen - <i>Symmetry concepts in physics</i> - <i>Basic concepts of group theory</i> - <i>Symmetry groups in classical and quantum mechanics</i> - <i>Discrete groups and applications in geometry and condensed-matter theory</i> - <i>Group actions and representation theory</i> - <i>Topological groups, Lie groups and Lie algebras</i> - <i>Applications in quantum many-particle theory</i>				
Lehrveranstaltungen und Lehrformen:	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)
	Symmetry Groups in Physics (V):	6	56	62	62
	Exercises in Symmetry Groups in Physics (Ü):	2	28	32	0
	Gesamtaufwand	8	84	94	62
Studien- /Prüfungsleistungen	Voraussetzungen: Keine Prüfungsart: Klausur oder mündliche Prüfung (benotet) Prüfungssprache: Englisch oder Deutsch Abweichungen werden zu Beginn der Veranstaltung bekannt gegeben.				
Dauer	Ein Semester				
Häufigkeit des Angebots	i. d. R. alle zwei Jahre				
Literatur:	Wird in der Veranstaltung bekannt gegeben.				

Modultitel:	Experimental Quantum Information Processing
Modulnummer/-kürzel:	PHY-MV-E501
Verwendbarkeit, Modultyp und Zuordnung zum Curriculum	Physik (M.Sc.): Wahlpflichtmodul (QP) Physics (M.Sc.): Wahlpflichtmodul (QP)
Voraussetzungen für die Teilnahme:	<u>Verbindlich:</u> Keine <u>Empfohlen:</u> Keine
Modulverantwortliche(r):	Prof. Dr. Ralf Riedinger

Lehrende:	Mitglieder des Lehrkörpers aus dem Fachbereich Physik				
Sprache:	Deutsch oder Englisch				
Qualifikationsziele:	Nach erfolgreichem Abschluss des Moduls sind die Studierenden in der Lage, grundlegende Quantenlogikgatter und deren experimentelle Realisierung auf verschiedenen Hardwareplattformen zu erläutern. Sie können die Dynamik von Zwei- und Mehrniveausystemen modellieren, Übergangswahrscheinlichkeiten berechnen und die Auswirkungen von Dekohärenz und Messprozessen analysieren. Darüber hinaus sind sie befähigt, zentrale experimentelle Bausteine der Quanteninformationsverarbeitung kritisch zu bewerten und für konkrete Anwendungen auszuwählen. <i>After successful completion of the module, students will be able to explain fundamental quantum logic gates and their experimental implementation on different hardware platforms. They can model the dynamics of two-level and multi-level systems, calculate transition probabilities, and analyze the effects of decoherence and measurement processes. Furthermore, they will be able to critically assess key experimental building blocks of quantum information processing and select appropriate approaches for specific applications.</i>				
Inhalt:	- Qubits, Repräsentation und Quantengatter - Grundlagen atomarer, molekularer und optischer Prozesse (AMO) - Mehrniveau-Quantensysteme - Offene Quantensysteme - Dekohärenz und Messung - Farbzentren - Gefangene Ionen - Supraleitende Qubits - Neutrale Atome - <i>Qubits, representations and quantum gates</i> - <i>Basic atomic, molecular and optical (AMO) processes</i> - <i>Multi-level quantum systems</i> - <i>Open quantum systems</i> - <i>Decoherence and quantum measurement</i> - <i>Color center qubits</i> - <i>Trapped ion platforms</i> - <i>Superconducting qubits</i> - <i>Neutral atom platforms</i>				
Lehrveranstaltungen und Lehrformen:	Experimental Quantum Information Processing (V):			2 SWS	
	Exercises in Experimental Quantum Information Processing (Ü):			2 SWS	
Arbeitsaufwand* (Teilleistungen und insgesamt)		LP	P (Std)	S (Std)	PV (Std)
	Experimental Quantum Information Processing (V):	3	28	32	30
	Exercises in Experimental Quantum Information Processing (Ü):	2	28	32	0
	Gesamtaufwand	5	56	64	30

Studien- /Prüfungsleistungen	Voraussetzungen: Keine Prüfungsart: Klausur oder mündliche Prüfung (benotet) Prüfungssprache: Englisch Abweichungen werden zu Beginn der Veranstaltung bekannt gegeben.
Dauer	Ein Semester
Häufigkeit des Angebots	Jährlich im Wintersemester
Literatur:	Wird in der Veranstaltung bekannt gegeben.

Modultitel:	Gravitational-Wave Detection
Modulnummer/-kürzel:	PHY-MV-E502
Verwendbarkeit, Modultyp und Zuordnung zum Curriculum	Physik (M.Sc.): Wahlpflichtmodul (AA, QP) Physics (M.Sc.): Wahlpflichtmodul (AA, QP)
Voraussetzungen für die Teilnahme:	<u>Verbindlich</u> : Keine <u>Empfohlen</u> : Keine
Modulverantwortliche(r):	Prof. Dr. Roman Schnabel
Lehrende:	Mitglieder des Lehrkörpers aus dem Fachbereich Physik
Sprache:	Englisch oder Deutsch, i.d.R. Deutsch
Qualifikationsziele:	Nach erfolgreichem Abschluss des Moduls können die Studierenden die physikalischen Grundlagen der Entstehung und Ausbreitung von Gravitationswellen erläutern, die Funktionsweise von Gravitationswellendetektoren auf Basis resonanter Massen und Laserinterferometer beschreiben, Transferfunktionen und fundamentale Rauschquellen und Sensitivitätsgrenzen berechnen sowie zukünftige Verbesserungsmöglichkeiten bewerten. <i>After successfully completing the module, students will be able to explain the physical principles behind the formation and propagation of gravitational waves, describe how gravitational wave detectors based on resonant masses and laser interferometers work, calculate transfer functions, fundamental noise sources, and sensitivity limits, and evaluate potential future improvements.</i>
Inhalt:	- Eigenschaften von Gravitationswellen - Methoden zur Gravitationswellenmessung - Schwingungsmoden von Festkörpern und Suszeptibilität - Fluktuations-Dissipations-Theorem - Spektrale Rauschdichten und thermisches Rauschen - Laserinterferometrie - Schrotrauschen und Strahlungsdruckrauschen - Quantum-Non-Demolition-Messungen - Die erste Messung von Gravitationswellen - Quellen von Gravitationswellen (Verschmelzungen von Schwarzen Löchern und Neutronensternen) - LIGO und zukünftige Gravitationswellendetektoren

	- Seismische Isolation und Inertialsensoren - LISA-Mission - Heterodyne Interferometrie und Niederfrequenzmodulation - Simulation und Modellierung von Detektoren - <i>Properties of gravitational waves</i> - <i>Gravitational wave detection methods</i> - <i>Mechanical resonances and susceptibility</i> - <i>Fluctuation–dissipation theorem</i> - <i>Spectral noise densities and thermal noise</i> - <i>Laser interferometry techniques</i> - <i>Shot noise and radiation pressure noise</i> - <i>Quantum non-demolition measurements</i> - <i>The first gravitational wave detection</i> - <i>Sources of gravitational waves (black hole and neutron star mergers)</i> - <i>LIGO and future gravitational wave detectors</i> - <i>Seismic isolation and inertial sensors</i> - <i>LISA mission</i> - <i>Heterodyne interferometry and low-frequency modulation</i> - <i>Detector simulation and modelling</i>				
Lehrveranstaltungen und Lehrformen:	Gravitational-Wave Detection (V): Exercises in Gravitational-Wave Detection (Ü):				4 SWS 2 SWS
Arbeitsaufwand* (Teilleistungen und insgesamt)		LP	P (Std)	S (Std)	PV (Std)
	Gravitational-Wave Detection (V):	6	56	62	62
	Exercises in Gravitational-Wave Detection (Ü):	2	28	32	0
	Gesamtaufwand	8	84	94	62
Studien-/Prüfungsleistungen	Voraussetzungen: Keine Prüfungsart: Mündliche Prüfung (benotet) Prüfungssprache: Englisch oder Deutsch Abweichungen werden vor Beginn der Lehrveranstaltung bekannt gegeben.				
Dauer	Ein Semester				
Häufigkeit des Angebots	Jährlich im Sommersemester				
Literatur:	P.R. Saulson, Fundamentals of Interferometric Gravitational Wave Detectors, World Scientific, Singapore, (2017)				

Modultitel:	Light Fields and Quantum Correlations
Modulnummer/-kürzel:	PHY-MV-E504
Verwendbarkeit, Modultyp und Zuordnung zum Curriculum	Physik (M.Sc.): Wahlpflichtmodul (QP) Physik (M.Sc.): Wahlpflichtmodul (QP)
Voraussetzungen für die Teilnahme:	<u>Verbindlich:</u> Keine <u>Empfohlen:</u> Grundkenntnisse der Quantenmechanik und Laserphysik

Modulverantwortliche(r):	Prof. Dr. Roman Schnabel				
Lehrende:	Mitglieder des Lehrkörpers aus dem Fachbereich Physik				
Sprache:	Englisch oder Deutsch, i.d.R. Deutsch				
Qualifikationsziele:	Nach erfolgreichem Abschluss des Moduls können die Studierenden die zentralen Konzepte der Quantenoptik inklusive Quantenkorrelationen im Allgemeinen erläutern, grundlegende Experimente zur Erzeugung und Messung quantenkorrelierter Lichtzustände beschreiben, quantenmechanische Verschränkung analysieren sowie Anwendungen wie Quantenteleportation, Quantenkryptographie und optisches Quantencomputing physikalisch einordnen. <i>After successful completion of the module, students are able to explain key concepts of quantum optics and quantum correlations, describe fundamental experiments for generating and measuring quantum-correlated states of light, analyse quantum entanglement, and classify applications such as quantum teleportation, quantum cryptography, and optical quantum computing from a physical perspective.</i>				
Inhalt:	- Welle-Teilchen-Dualismus - Einstein-Podolsky-Rosen-Gedankenexperiment - Bell'sche Ungleichungen und experimentelle Tests - Erzeugung gequetschter Zustände und Fock-Zustände - Quantenkorrelationen und Verschränkung - Hong-Ou-Mandel-Effekt - Quantenteleportation - Quantenkryptographie - Schrödinger-Katzen-Zustände - Optisches Quantencomputing - <i>Wave-particle duality</i> - <i>Einstein-Podolsky-Rosen Gedankenexperiment</i> - <i>Bell inequalities and experimental tests</i> - <i>Generation of squeezed states and Fock states</i> - <i>Quantum correlations and entanglement</i> - <i>Hong-Ou-Mandel effect</i> - <i>Quantum teleportation</i> - <i>Quantum cryptography</i> - <i>Schrödinger cat states</i> - <i>Optical quantum computing</i>				
Lehrveranstaltungen und Lehrformen:	Light Fields and Quantum Correlations (V):				4 SWS
	Exercises in Light Fields and Quantum Correlations (Ü):				2 SWS
Arbeitsaufwand* (Teilleistungen und insgesamt)		LP	P (Std)	S (Std)	PV (Std)
	Light Fields and Quantum Correlations (V):	6	56	62	62
	Exercises in Light Fields and Quantum Correlations (Ü):	2	28	32	0
	Gesamtaufwand	8	84	94	62

Studien- /Prüfungsleistungen	Voraussetzungen: Keine Prüfungsart: Mündliche Prüfung (benotet) Prüfungssprache: Englisch oder Deutsch, i.d.R. Deutsch Abweichungen werden vor Beginn der Lehrveranstaltung bekannt gegeben.
Dauer	Ein Semester
Häufigkeit des Angebots	i. d. R. jährlich im Wintersemester
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:	Quantum Simulation with Neutral Atoms
Modulnummer/-kürzel:	PHY-MV-E505
Verwendbarkeit, Modultyp und Zuordnung zum Curriculum	Physik (M.Sc.): Wahlpflichtmodul (QP) Physics (M.Sc.): Wahlpflichtmodul (QP)
Voraussetzungen für die Teilnahme:	<u>Verbindlich</u> : Keine <u>Empfohlen</u> : Keine
Modulverantwortliche(r):	Prof. Dr. Peter Schauss
Lehrende:	Mitglieder des Lehrkörpers aus dem Fachbereich Physik
Sprache:	Englisch oder Deutsch
Qualifikationsziele:	Nach erfolgreichem Absolvieren des Moduls haben die Studierenden einen Überblick über die wesentlichen aktuellen wissenschaftlichen Entwicklungen auf dem Gebiet der Quantensimulation mit neutralen Atomen. Sie können die Realisierbarkeit von Quantensimulationsexperimenten basierend auf den Eigenschaften von Atomen abschätzen und Funktionsweise aktueller Experimente erklären. Studierende werden vorbereitet auf experimentelle und theoretische Masterarbeiten in dem Gebiet und können sich in aktuelle Entwicklungen mit Hilfe von Publikationen einlesen. <i>After successfully completing the module, students have an overview of the key current scientific developments in the field of quantum simulation with neutral atoms. They are able to assess the feasibility of quantum simulation experiments based on the properties of atoms and explain the functioning of current experiments. Students are prepared for experimental and theoretical master's theses in this field and are able to familiarize themselves with current developments with the help of scientific publications.</i>
Inhalt:	- Wiederholung der Atomphysik für Anwendungen in der Quantensimulation - Quantensimulationsplattformen mit neutralen Atomen - Ultrakalte Gase - Ultrakalte Atome in optischen Gittern - Rydbergatome in optischen Pinzetten

	- Modellsysteme für Quantensimulation - Spinmodelle und Hubbard-Modelle - <i>Review of atomic physics for quantum simulation applications</i> - <i>Quantum simulation platforms with neutral atoms</i> - <i>Ultracold gases</i> - <i>Ultracold atoms in optical lattices</i> - <i>Rydberg atoms in optical tweezers</i> - <i>Model systems for quantum simulation</i> - <i>Spin models and Hubbard models</i>				
Lehrveranstaltungen und Lehrformen:	Quantum Simulation with Neutral Atoms (V): Exercises in Quantum Simulation with Neutral Atoms (Ü):				4 SWS 2 SWS
Arbeitsaufwand* (Teilleistungen und insgesamt)		LP	P (Std)	S (Std)	PV (Std)
	Quantum Simulation with Neutral Atoms (V):	6	56	62	62
	Exercises in Quantum Simulation with Neutral Atoms (Ü):	2	28	32	0
	Gesamtaufwand	8	84	94	62
Studien- /Prüfungsleistungen	Voraussetzungen: Keine Prüfungsart: Klausur oder mündliche Prüfung (benotet) Prüfungssprache: Englisch oder Deutsch Abweichungen werden zu Beginn der Veranstaltung bekannt gegeben.				
Dauer	Ein Semester				
Häufigkeit des Angebots	Jährlich im Wintersemester				
Literatur:	Wird in der Veranstaltung bekannt gegeben.				

Modultitel:	Ultrakalte Quantengase
Modulnummer/-kürzel:	PHY-MV-E506
Verwendbarkeit, Modultyp und Zuordnung zum Curriculum	Physik (M.Sc.): Wahlpflichtmodul (QP) Physics (M.Sc.): Wahlpflichtmodul (QP)
Voraussetzungen für die Teilnahme:	<u>Verbindlich:</u> Keine <u>Empfohlen:</u> Keine
Modulverantwortliche(r):	Prof. Dr. Klaus Sengstock
Lehrende:	Mitglieder des Lehrkörpers aus dem Fachbereich Physik
Sprache:	Englisch oder Deutsch
Qualifikationsziele:	Nach erfolgreichem Abschluss des Moduls können die Studierenden zentrale physikalische Konzepte ultrakalter Quantengase sicher erläutern, experimentelle und theoretische Methoden zur Erzeugung, Detektion und Kontrolle von Bose- und Fermigasen angemessen auswählen und anwenden, Messdaten aus Experimenten mit ultrakalten Quantengasen auswerten und kritisch beurteilen

	sowie wissenschaftliche Originalarbeiten zu aktuellen Forschungsthemen selbstständig verstehen und einordnen. <i>After successful completion of the module, students are able to confidently explain key physical concepts of ultracold quantum gases, appropriately select and apply experimental and theoretical methods for the generation, detection, and control of Bose and Fermi gases, evaluate and critically assess measurements of ultracold quantum gases experiments, and independently understand and assess original scientific papers on current research topics.</i>				
Inhalt:	- Grundlagen der Bose-Einstein-Kondensation - Quantenstatistik und theoretische Grundlagen - Experimentelle Techniken und Laserkühlung - Erzeugung und Nachweis von Bose-Einstein-Kondensaten - Elementare Anregungen in Quantengasen - Optische Gitter und Quantensimulation - Quantenphasen in optischen Gittern - Quantengasmikroskopie - Künstliche Eichfelder für neutrale Atome - Harper-Hofstadter-Modell - Grundlagen entarteter Fermigase - Feshbach-Resonanzen - BCS-Theorie und stark wechselwirkende Fermigase - BEC-BCS-Übergang - <i>Fundamentals of Bose–Einstein condensation</i> - <i>Quantum statistics and theoretical foundations</i> - <i>Experimental techniques and laser cooling</i> - <i>Generation and detection of Bose–Einstein condensates</i> - <i>Elementary excitations in quantum gases</i> - <i>Optical lattices and quantum simulation</i> - <i>Quantum phases in optical lattices</i> - <i>Quantum gas microscopy</i> - <i>Artificial gauge fields for neutral atoms</i> - <i>Harper–Hofstadter model</i> - <i>Fundamentals of degenerate Fermi gases</i> - <i>Feshbach resonances</i> - <i>BCS theory and strongly interacting Fermi gases</i> - <i>BEC–BCS crossover</i>				
Lehrveranstaltungen und Lehrformen:	Ultracold Quantum Gases (V): Exercises in Ultracold Quantum Gases (Ü):				4 SWS 2 SWS
Arbeitsaufwand* (Teilleistungen und insgesamt)		LP	P (Std)	S (Std)	PV (Std)
	Ultracold Quantum Gases (V):	6	56	62	62
	Exercises in Ultracold Quantum Gases (Ü):	2	28	32	0
	Gesamtaufwand	8	84	94	62
Studien- /Prüfungsleistungen	Voraussetzungen: Keine Prüfungsart: Klausur oder mündliche Prüfung (benotet) Prüfungssprache: Englisch oder Deutsch Abweichungen werden zu Beginn der Veranstaltung bekannt gegeben.				
Dauer	Ein Semester				

Häufigkeit des Angebots	Jährlich im Wintersemester
Literatur:	- L. Pitaevskii und S. Stringari, „Bose-Einstein Condensation“, Oxford University Press (2003). - C. Pethik und H. Smith, „Bose-Einstein Condensation in Dilute Gases“, 2nd ed., Cambridge University Press (2008). - W. Ketterle, D. S. Durfee und D. M. Stamper-Kurn, „Making, probing and understanding Bose-Einstein condensates“, arXiv:cond-mat/9904034 (1999). - F. Dalfovo, S. Giorgini, L. P. Pitaevskii und S. Stringari, „Theory of Bose-Einstein condensation in trapped gases“, Rev. Mod. Phys. 71, 463 (1999). - I. Bloch, J. Dalibard und W. Zwerger, „Many-body physics with ultracold gases“, Rev. Mod. Phys. 80, 885 (2008). - P. Törmä und K. Sengstock, „Quantum Gas Experiments: Exploring Many-Body States“, World Scientific (2014).

Modultitel:	Quantum Technology I
Modulnummer/-kürzel:	PHY-MV-T501
Verwendbarkeit, Modultyp und Zuordnung zum Curriculum	Physik (M.Sc.): Wahlpflichtmodul (QP, TP) Physik (M.Sc.): Wahlpflichtmodul (QP, TP)
Voraussetzungen für die Teilnahme:	<u>Verbindlich:</u> Keine <u>Empfohlen:</u> Keine
Modulverantwortliche(r):	Prof. Dr. Ludwig Mathey
Lehrende:	Mitglieder des Lehrkörpers aus dem Fachbereich Physik
Sprache:	Englisch
Qualifikationsziele:	Nach erfolgreichem Abschluss des Moduls verstehen die Studierenden die physikalischen Grundlagen moderner Quantentechnologieplattformen. Sie sind in der Lage, die Dynamik von Zwei- und Mehrzustandssystemen zu analysieren, Quantenmessprozesse und Verschränkung zu beschreiben sowie dissipative Effekte zu modellieren. Darüber hinaus können sie grundlegende Konzepte der Quantenkryptografie, Quantenalgorithmen sowie atomare und photonische Implementierungen einordnen. <i>After successful completion of the module, students understand the physical foundations of modern quantum technology platforms. They are able to analyse the dynamics of two-level and multi-level systems, describe quantum measurement processes and entanglement, and model dissipative effects. Furthermore, they can classify fundamental concepts of quantum cryptography, quantum algorithms, and atomic and photonic implementations.</i>
Inhalt:	- Zwei- und few-Level-Systeme - Rabi-Dynamik, Qubits und Quantengatter - Quantenmessung und Verschränkung - Zweite Quantisierung und photonische Zustände - Interferometrie - Quantenkryptographie und Teleportation

	- Dissipative Quantendynamik - Cavity-QED - Einführung in Quantenalgorithmen - Atomare Systeme und Rydberg-Zustände - Ionensysteme - <i>Two-level and few-level systems</i> - <i>Rabi dynamics, qubits and quantum gates</i> - <i>Quantum measurement and entanglement</i> - <i>Second quantization and photonic states</i> - <i>Interferometry</i> - <i>Quantum cryptography and teleportation</i> - <i>Dissipative quantum dynamics</i> - <i>Cavity QED</i> - <i>Introduction to quantum algorithms</i> - <i>Atomic systems and Rydberg states</i> - <i>Trapped ion systems</i>				
Lehrveranstaltungen und Lehrformen:	Quantum Technology I (V): Exercises in Quantum Technology I (Ü):				4 SWS 2 SWS
Arbeitsaufwand* (Teilleistungen und insgesamt)		LP	P (Std)	S (Std)	PV (Std)
	Quantum Technology I (V):	6	56	62	62
	Exercises in Quantum Technology I (Ü):	2	28	32	0
	Gesamtaufwand	8	84	94	62
Studien- /Prüfungsleistungen	Voraussetzungen: Keine Prüfungsart: Mündliche Prüfung (benotet) Prüfungssprache: Englisch oder Deutsch Abweichungen werden zu Beginn der Veranstaltung bekannt gegeben.				
Dauer	Ein Semester				
Häufigkeit des Angebots	Jährlich im Wintersemester				
Literatur:	Wird in der Veranstaltung bekannt gegeben.				

Modultitel:	Quantum Technology II
Modulnummer/-kürzel:	PHY-MV-T502
Verwendbarkeit, Modultyp und Zuordnung zum Curriculum	Physik (M.Sc.): Wahlpflichtmodul (QP, TP) Physics (M.Sc.): Wahlpflichtmodul (QP, TP)
Voraussetzungen für die Teilnahme:	<u>Verbindlich:</u> Keine <u>Empfohlen:</u> Keine
Modulverantwortliche(r):	Prof. Dr. Ludwig Mathey
Lehrende:	Mitglieder des Lehrkörpers aus dem Fachbereich Physik
Sprache:	Englisch

Qualifikationsziele:	Nach erfolgreichem Abschluss des Moduls verstehen die Studierenden die physikalischen Grundlagen und Implementierungskonzepte festkörperbasierter Quantentechnologieplattformen. Sie können supraleitende Qubits, circuit QED, halbleiterbasierte Quantensysteme und topologische Konzepte einordnen sowie Methoden zur Erzeugung verschränkter Photonen beschreiben. Darüber hinaus besitzen sie grundlegende Kenntnisse moderner Fehlerkorrekturverfahren wie Surface Codes. <i>After successful completion of the module, students understand the physical principles and implementation concepts of solid-state-based quantum technology platforms. They are able to classify superconducting qubits, circuit QED, semiconductor-based quantum systems, and topological concepts, and describe methods for generating entangled photons. In addition, they have basic knowledge of modern quantum error correction schemes such as surface codes.</i>				
Inhalt:	- Einführung in Supraleitung - Supraleitende Qubits und Circuit QED - Halbleiterbasiertes Quantencomputing und Quantendots - Optisches Quantencomputing und verschränkte Photonen - Majorana-Nanodrähte - Topologisches Quantencomputing - Surface Codes - <i>Introduction to superconductivity</i> - <i>Superconducting qubits and circuit QED</i> - <i>Semiconductor-based quantum computing and quantum dots</i> - <i>Optical quantum computing and entangled photons</i> - <i>Majorana nanowires</i> - <i>Topological quantum computing</i> - <i>Surface codes</i>				
Lehrveranstaltungen und Lehrformen:	Quantum Technology II (V): Exercises in Quantum Technology II (Ü):				4 SWS 2 SWS
Arbeitsaufwand* (Teilleistungen und insgesamt)		LP	P (Std)	S (Std)	PV (Std)
	Quantum Technology II (V):	6	56	62	62
	Exercises in Quantum Technology II (Ü):	2	28	32	0
	Gesamtaufwand	8	84	94	62
Studien- /Prüfungsleistungen	Voraussetzungen: Keine Prüfungsart: Mündliche Prüfung (benotet) Prüfungssprache: Englisch oder Deutsch Abweichungen werden zu Beginn der Veranstaltung bekannt gegeben.				
Dauer	Ein Semester				
Häufigkeit des Angebots	Jährlich im Sommersemester				
Literatur:	Wird in der Veranstaltung bekannt gegeben.				

Modultitel:	Quantum Computing and Information
Modulnummer/-kürzel:	PHY-MV-T503

Verwendbarkeit, Modultyp und Zuordnung zum Curriculum	Physik (M.Sc.): Wahlpflichtmodul (QP) Physics (M.Sc.): Wahlpflichtmodul (QP)
Voraussetzungen für die Teilnahme:	<u>Verbindlich:</u> Keine <u>Empfohlen:</u> Kenntnisse in Quantenoptik und Atomphysik
Modulverantwortliche(r):	Prof. Dr. Dieter Jaksch
Lehrende:	Mitglieder des Lehrkörpers aus dem Fachbereich Physik
Sprache:	Englisch
Qualifikationsziele:	Ein detailliertes Verständnis der physikalischen Eigenschaften und Modelle von Qubits und Quantenregistern entwickeln. Erlernen der Beschreibung reversibler Quantenoperationen auf Quantenregistern mithilfe von Quantenschaltkreisen sowie der Universalität von Ein- und Zwei-Qubit-Gattern. Erwerb fundierter Kenntnisse der Standard-Quantenalgorithmen und ihrer Funktionsprinzipien. Verständnis der Gründe, warum ihnen ein quantenmechanischer Vorteil gegenüber klassischen Algorithmen zugeschrieben wird. Verständnis der Grundlagen von Protokollen der Quanteninformationsverarbeitung und der Nutzung von Superposition und Verschränkung zur Überlegenheit gegenüber klassischen Verfahren. Entwicklung eines physikalischen Verständnisses dafür, wie die Quantenmechanik den lokalen Realismus verletzt und wie dies die Grundlage für nicht-intuitive physikalische Beobachtungen in der Quantenwelt bildet. Verständnis realer Beispiele von Quantencomputern hinsichtlich der Präparation, Initialisierung, Messung sowie der Durchführung von Ein- und Zwei-Qubit-Operationen anhand von mindestens zwei Plattformen (supraleitende Qubits und Rydberg-Atome als Qubits). Verständnis der Vor- und Nachteile verschiedener Quantenhardwareplattformen sowie Fähigkeit zur Bewertung experimenteller Fortschritte der letzten Jahre. Erwerb eines Verständnisses dafür, wie Quantenkanäle zur einheitlichen Beschreibung von Quantenprozessen einschließlich unitärer Zeitentwicklung, Dekohärenz und verallgemeinerter Messungen verwendet werden können. Studium der Grundlagen der Quantenfehlerkorrektur und des fehlertoleranten Quantenrechnens sowie Einschätzung, wie Anforderungen an Fehlertoleranz in naher Zukunft durch Quantenhardware erfüllt werden könnten. Entwicklung grundlegender Fähigkeiten in der Quantenprogrammierung, z. B. mit der Open-Source-Softwareplattform QISKIT. Durchführung exemplarischer Algorithmen auf Quantenhardware oder entsprechenden klassischen Simulatoren zur Einschätzung der aktuellen Leistungsfähigkeit von Quantenhardware. <i>Develop a detailed understanding of the physical properties and models of qubits and quantum registers.</i> <i>Learn to use quantum circuits to describe reversible quantum operations on quantum registers and the universality of single and two-qubit gate operations.</i> <i>Gain a detailed knowledge of the standard quantum algorithms and their working principles. Understand the origin for why they are believed to possess a quantum advantage over classical algorithms.</i> <i>Understand the basics of quantum information processing protocols and how they utilize superposition and entanglement to outcompete their classical counterparts.</i> <i>Develop a physical understanding of how quantum mechanics violates local realism and how this forms the basis for non-intuitive physical observations in the</i>

	<i>quantum world.</i> <i>Understand how real examples of quantum computers prepare the qubits, initialize them, measure, perform one and two-qubits operations for at least two examples (superconducting qubits and Rydberg atoms as qubits).</i> <i>Understand the advantages and drawbacks of different quantum hardware platforms and learn to assess experimental progress achieved over recent years. Gain an understanding of how quantum channels can be used to obtain a unified description of quantum processes including unitary evolution, decoherence and generalized measurement.</i> <i>Study the basics of quantum error correction and fault tolerant quantum computing and learn to assess how requirements for fault tolerance might be fulfilled in near future quantum hardware.</i> <i>Develop basic quantum programming skills e.g. using the QISKIT open source software platform. Learn to run exemplary algorithms on quantum hardware or corresponding classical simulators to gain an understanding of the current capabilities of quantum hardware.</i>
Inhalt:	Quantencomputing verspricht eine Revolution in der Art und Weise, wie Berechnungen und Simulationen durchgeführt werden. Es vereint Expertise aus der Physik mit Informations- und Informatikwissenschaften zur Entwicklung neuartiger Rechenparadigmen. Quantencomputing ist eines der aktivsten Forschungsfelder innerhalb der Quantentechnologien. Die Lehrveranstaltung behandelt umfassend die Grundpfeiler des Quantencomputings und der Quanteninformation aus theoretischer Perspektive und diskutiert einige der vielversprechendsten Plattformen zum Aufbau von Quantencomputern. Der Kurs ist in vier theoretische Teile sowie einen experimentellen Teil gegliedert und umfasst folgende Themen: Teil I Grundlagen: Physikalische Modellierung und Eigenschaften von Qubits; Spuren und gemischte Zustände; Ein- und Zwei-Qubit-Gatter, Quantenschaltkreise; Photonen als Quantenplattform; universelle Gattersätze; Quantenmessung; Verschränkungsmaße. Teil II Quantenalgorithmen: Quantenparallelismus, Orakel, Phase-Kickback-Methode; Deutsch–Jozsa-Algorithmus; Quanten-Fourier-Transformation; Quantenphasenschätzung; Shors Faktorisierungsalgorithmus; Grovers Suchalgorithmus. Teil III Quanteninformation: Grundlagen der klassischen und quantenmechanischen Informationstheorie; Quantenkanäle; Bell-Ungleichungen und GHZ-Zustände; Quantenkommunikations- und Kryptographieprotokolle. Teil IV Fehlerkorrektur: Einzel-Qubit-Fehler; Shor- und Steane-Code; Einführung in Stabilisatoren und CSS-Codes; Grundlagen des fehlertoleranten Quantenrechnens. Teil Experiment: Quantisierung des Lichtfeldes; Wechselwirkung einzelner Photonen mit einzelnen Atomen (Jaynes–Cummings-Modell); supraleitende Qubits und Rydberg-Atome als exemplarische Quantencomputer-Hardwareplattformen; Vor- und Nachteile verschiedener Hardwareplattformen. Die begleitenden Übungen zur Vorlesung umfassen QISKIT-Programmierung, die

	Bearbeitung grundlegender Publikationen sowie grundlegende Problemlösungsstrategien. <i>Quantum computing promises to revolutionize the way computations and simulations are performed. It combines expertise from physics with information and computing science to develop novel computing paradigms. Quantum computing is one of the most active fields in quantum technologies. The course comprehensively covers the pillars of quantum computing and information from a theoretical perspective and discusses some of the most promising platforms for building quantum computers. The course is divided into four theory parts and an experimental part which cover the following topics:</i> <i>Part I Basics: Physical modelling and properties of qubits; traces and mixed states; single-qubit and two-qubit gates, quantum circuits; photons as a quantum platform; universal sets of gates; quantum measurement; entanglement measures.</i> <i>Part II Quantum Algorithms: Quantum-parallelism, oracles, phase kick-back method; Deutsch-Jozsa algorithm; quantum Fourier transform; quantum phase estimation; Shor's factoring algorithm; Grover's search algorithm.</i> <i>Part III Quantum Information: Basics of classical and quantum information theory; quantum channels; Bell inequalities and GHZ states; quantum communication and cryptography protocols</i> <i>Part IV Error Correction: Single qubit errors; Shor and Steane code; introduction to stabilizers and CSS codes; some basics of fault tolerant quantum computing</i> <i>Part Experiment: Quantization of light field; interaction of single photons with single atoms (Jaynes Cummings model); superconducting qubits and Rydberg atoms as exemplary quantum computing hardware platforms; advantages and drawbacks of different hardware platforms</i> <i>The exercises accompanying the lecture course cover QISKIT programming, working through foundational publications, and basic problem solving techniques.</i>				
Lehrveranstaltungen und Lehrformen:	Quantum Computing and Information (V): Exercises in Quantum Computing and Information (Ü):				4 SWS 2 SWS
Arbeitsaufwand* (Teilleistungen und insgesamt)		LP	P (Std)	S (Std)	PV (Std)
	Quantum Computing and Information (V):				
	Exercises in Quantum Computing and Information (Ü):	6	56	62	62
		2	28	32	0
	Gesamtaufwand	8	84	94	62
Studien- /Prüfungsleistungen	Voraussetzungen: Keine Prüfungsart: Mündliche Prüfung (benotet) Prüfungssprache: Englisch oder Deutsch Abweichungen werden zu Beginn der Veranstaltung bekannt gegeben.				
Dauer	Ein Semester				
Häufigkeit des Angebots	Jährlich im Sommersemester				

Literatur:	- Jonathan Jones and Dieter Jaksch, Quantum Information, Computation and Communication - Michael Nielsen and Isaac Chuang, Quantum Computation and Quantum Information: 10th Anniversary Edition
-------------------	---

Modultitel:	Quantum Computing and Information II
Modulnummer/-kürzel:	PHY-MV-T504
Verwendbarkeit, Modultyp und Zuordnung zum Curriculum	Physik (M.Sc.): Wahlpflichtmodul (QP) Physics (M.Sc.): Wahlpflichtmodul (QP)
Voraussetzungen für die Teilnahme:	<u>Verbindlich:</u> Quantum Computing and Information I <u>Empfohlen:</u> Kenntnisse von Plattformen für optische Quantentechnologie
Modulverantwortliche(r):	Prof. Dr. Dieter Jaksch
Lehrende:	Mitglieder des Lehrkörpers aus dem Fachbereich Physik
Sprache:	Englisch
Qualifikationsziele:	Ein detailliertes Verständnis der konzeptionellen Struktur fehlerkorrigierender Quanten-Codes entwickeln. Erlernen der Anwendung des Stabilisatorformalismus zur Beschreibung und Analyse fehlerkorrigierender Codes. Studium der wichtigsten Klassen moderner fehlerkorrigierender Codes sowie Identifikation ihrer zentralen Vorteile und Nachteile. Untersuchung der Grundlagen der Dekodierung fortgeschrittener fehlerkorrigierender Quanten-Codes. Entwicklung eines fundierten Verständnisses der Anforderungen und Herausforderungen bei der Realisierung fehlertoleranter universeller Quantencomputing-Plattformen. Erwerb eines umfassenden Überblicks über den aktuellen Stand der Forschung im Bereich der Quantenfehlerkorrektur. Verständnis der Einschränkungen aktueller Hardwareplattformen, ihrer Imperfektionen sowie der zur Beschreibung verwendeten Fehlermodelle. Erlernen der Fähigkeit, aktuelle Forschungsliteratur im Bereich der Quantenfehlerkorrektur zu lesen, einzuordnen und kritisch zu bewerten. <i>Develop a detailed understanding of the conceptual structure of error correcting quantum codes</i> <i>Learn to apply the stabilizer formalism for describing and analysing error correcting codes.</i> <i>Study the main classes of contemporary error correcting codes and identify their main advantages and drawbacks.</i> <i>Investigate the basics of decoding for advances quantum error correcting codes. Develop a solid understanding of the requirements and challenges in achieving fault tolerant universal quantum computing platforms.</i> <i>Gain a comprehensive understanding of the current state of the field of quantum error correction.</i> <i>Understand some of the limitations of current hardware platforms, their imperfections, and error models used to describe them</i> <i>Learn to read and assess the current research literature in the field of quantum error correction.</i>

Inhalt:	Quantencomputing befindet sich derzeit im Übergang von der Ära verrauschter Quantenprozessoren mittlerer Größe (Noisy Intermediate-Scale Quantum, NISQ) hin zu universellen, skalierbaren und fehlertoleranten Quantencomputing-Plattformen. Aufbauend auf den Grundlagen des Quantencomputings, die in der Vorlesung Quantum Computing and Information I behandelt wurden, widmet sich diese theoretische Lehrveranstaltung detailliert Methoden der Quantenfehlerkorrektur und der Fehlertoleranz. Der Kurs ist in vier Teile gegliedert, die folgende Themen abdecken: Teil I Grundlagen: Einführung in die klassische Fehlerkorrektur; verallgemeinerte Messungen und POVMs; Kraus-Operatoren und Quantenkanäle. Teil II Fehlerkorrigierende Quanten-Codes: Fehlerkorrektur als Quantenkanäle, Knill–Laflamme-Bedingung; Bit-Flip- und Phase-Flip-Codes; Shor- und Steane-Fehlerkorrekturcodes; Stabilisatoren und Stabilisatorcodes, CSS-Codes; Surface-Codes und torische Codes, Farb-Codes; LDPC-Codes und Quanten-LDPC-Codes. Teil III Dekodierung und Fehlertoleranz: Dekodieralgorithmen: Peeling- und Belief-Propagation-Verfahren, stochastische Dekodierung; fehlertolerante Quantengatter: transversale Gatter; Magic-State-Destillation und -Injektion, Lattice Surgery; Fehlertoleranzschwellen und Skalierung des Ressourcenaufwands. Teil IV Spezielle Themen: Der letzte Teil des Kurses führt in ausgewählte spezielle und/oder Nischenthemen von aktuellem Interesse ein und kann sich von Jahr zu Jahr ändern. Beispielsweise können dekohärenzfreie Unterräume, dynamische Entkopplung, Heralding-Techniken oder Quantenfehlerminderung behandelt werden. Anhand konkreter Beispiele wird diskutiert, wie solche Techniken in aktuellen Experimenten eingesetzt werden. <i>Quantum computing is quickly moving from the era of noisy intermediate scale quantum devices to universal scalable and fault tolerant quantum computing platforms. Building on the basics of quantum computing studied in the lecture course Quantum Computing and Information I, this theory course studies error correction methods and fault tolerance in detail. The course is divided into four parts that cover the following topics.</i> <i>Part I Basics: Introduction to classical error correction; generalized measurements and POVMs; Kraus operators and quantum channels.</i> <i>Part II Error Correcting Quantum Codes: Error correction as quantum channels, the Knill-Laflamme condition; Bit-flip and phase-flip codes; Shor and Steane error correcting codes; stabilizers and stabilizer codes, CSS codes; surface codes and toric codes, colour codes; LDPC codes and quantum LDPC codes.</i> <i>Part III Decoding and Fault tolerance: decoding algorithms: peeling and belief propagation, stochastic decoding; fault tolerant quantum gates: transversal gates; magic state distillation and injection, lattice surgery; fault tolerance thresholds and overhead scaling.</i> <i>Part IV Special Topics: The last part of the course will introduce some special and/or niche topics of current interest and may change from year to year. For instance, decoherence-free subspaces, dynamic decoupling, heralding techniques,</i>
-----------------------	--

	or quantum error mitigation may be covered. Examples of how such techniques are being used in current experiments will be discussed. The exercises accompanying the lecture course focus on working through selected recent publications on the topics of the course.				
Lehrveranstaltungen und Lehrformen:	Quantum Computing and Information II (V): Exercises in Quantum Computing and Information II (Ü):				4 SWS 2 SWS
Arbeitsaufwand* (Teilleistungen und insgesamt)		LP	P (Std)	S (Std)	PV (Std)
	Quantum Computing and Information II (V): Exercises in Quantum Computing and Information II (Ü):	6 2	56 28	62 32	62 0
	Gesamtaufwand	8	84	94	62
Studien- /Prüfungsleistungen	Voraussetzungen: Keine Prüfungsart: Mündliche Prüfung (benotet) Prüfungssprache: Englisch oder Deutsch Abweichungen werden zu Beginn der Veranstaltung bekannt gegeben.				
Dauer	Ein Semester				
Häufigkeit des Angebots	Jährlich im Wintersemester				
Literatur:	- Michael Nielsen and Isaac Chuang, Quantum Computation and Quantum Information: 10th Anniversary Edition - Ivan B. Djordjevic: Quantum Information Processing, Quantum Computing, and Quantum Error Correction: An Engineering Approach				

Modultitel:	Fundamental Concepts of Optics: From Optical Light to X-rays
Modulnummer/-kürzel:	PHY-MV-E601
Verwendbarkeit, Modultyp und Zuordnung zum Curriculum	Physik (M.Sc.): Wahlpflichtmodul (XU) Physics (M.Sc.): Wahlpflichtmodul (XU) Physics and Chemistry of Nanomaterials (M.Sc.): Wahlpflichtmodul
Voraussetzungen für die Teilnahme:	<u>Verbindlich:</u> Keine <u>Empfohlen:</u> Keine
Modulverantwortliche(r):	Prof. Tais Gorkhover
Lehrende:	Mitglieder des Lehrkörpers aus dem Fachbereich Physik
Sprache:	Englisch oder Deutsch
Qualifikationsziele:	Nach erfolgreichem Abschluss des Moduls sind die Studierenden in der Lage, grundlegende optische Konzepte wie Strahlenoptik, Beugung, Interferenz, Kohärenz und Fourieroptik quantitativ anzuwenden. Sie können die Leistungsfähigkeit moderner photonischer Bildgebungsverfahren im optischen und Röntgenbereich analysieren und vergleichen. Darüber hinaus sind sie

	befähigt, geeignete Bildgebungsmethoden für konkrete experimentelle Fragestellungen auszuwählen und deren physikalische Grenzen kritisch zu bewerten. <i>Visualization techniques are essential tools for advancing our understanding of the natural world and represent a driving force behind progress in virtually all natural sciences. This lecture deepens the understanding of fundamental concepts in optics and provides a systematic overview of modern imaging methods based on photons. The course is complemented by exercises, student projects and illustrative examples in Python.</i> <i>After this lecture, you will be able to read understand and calculate the capabilities of optical and X-ray imaging methods. Complementary tools such electron microscopy can be also discussed. The lecture will help you identify the best imaging technique for future experimental needs.</i>				
Inhalt:	Grundlagen der Optik: - Wechselwirkung von Photonen mit Materie - Strahlverfolgung und geometrische Optik - Interferenz und Beugung - Fourier-Optik - Kohärenz Studierendenprojekte: - Moderne Holographie (optisch und Röntgen) - Optische Superauflösungsmikroskopie - Dunkelfeld- und Polarisationsmikroskopie - Optische Kohärenztomographie - Kohärente 3D-Röntgenbildgebung - Röntgenfluoreszenz-Bildgebung - Zeitaufgelöste Röntgendiffraktion - Erweiterte Bildgebungsmethoden - Projektbasierte Bildgebungsanwendungen <i>Contents</i> <i>The lecture will cover both theoretical foundations and modern applications, including:</i> - <i>Interaction of photons with matter</i> - <i>Fundamentals of ray tracing and geometrical optics</i> - <i>Interference and diffraction phenomena</i> - <i>Fourier optics</i> - <i>Coherence</i> <i>Student projects focused on imaging</i> - <i>Modern holography (optical and X-ray)</i> - <i>Optical super-resolution microscopy</i> - <i>Dark-field and polarization microscopy</i> - <i>Optical coherence tomography</i> - <i>Coherent X-ray imaging in 3D</i> - <i>X-ray fluorescence imaging</i> - <i>Time-resolved X-ray diffraction</i> - <i>Additional advanced methods</i>				
Lehrveranstaltungen und Lehrformen:	Fundamental Concepts of Optics: From Optical Light to X-rays (V):			4 SWS	
	Exercises in Fundamental Concepts of Optics: From Optical Light to X-rays (Ü):			2 SWS	
Arbeitsaufwand*		LP	P (Std)	S (Std)	PV (Std)

(Teilleistungen und insgesamt)	Fundamental Concepts of Optics: From Optical Light to X-rays (V):	6	56	62	62
	Exercises in Fundamental Concepts of Optics: From Optical Light to X-rays (Ü):	2	28	32	0
	Gesamtaufwand	8	84	94	62
Studien-/Prüfungsleistungen	Voraussetzungen: Erfolgreiche Erbringung von Studienleistungen (Übungen und Vortrag) Prüfungsart: Mündliche Prüfung (benotet) Prüfungssprache: Englisch oder Deutsch Abweichungen werden zu Beginn der Veranstaltung bekannt gegeben.				
Dauer	Ein Semester				
Häufigkeit des Angebots	Jährlich im Wintersemester				
Literatur:	https://xray.cfel.de/				

Modultitel:	Light-Matter-Interactions: Atoms, Molecules & (Non) Linear Optics
Modulnummer/-kürzel:	PHY-MV-E603
Verwendbarkeit, Modultyp und Zuordnung zum Curriculum	Physik (M.Sc.): Wahlpflichtmodul (XU) Physics (M.Sc.): Wahlpflichtmodul (XU)
Voraussetzungen für die Teilnahme:	<u>Verbindlich:</u> Keine <u>Empfohlen:</u> Keine
Modulverantwortliche(r):	Prof. Dr. Christian Bressler
Lehrende:	Mitglieder des Lehrkörpers aus dem Fachbereich Physik
Sprache:	Englisch oder Deutsch
Qualifikationsziele:	Nach erfolgreichem Abschluss des Moduls können die Studierenden Linienbreiten, LebensDauern und Polarisationsphänomene in atomaren und molekularen Spektren analysieren, verschiedene Linienverbreiterungsmechanismen unterscheiden, geeignete spektroskopische Messmethoden auswählen und experimentelle Ergebnisse für optische und Röntgenübergänge interpretieren. <i>After successful completion of the module, students are able to analyse linewidths, lifetimes and polarization effects in atomic and molecular spectra, distinguish different line broadening mechanisms, select appropriate spectroscopic measurement techniques, and interpret experimental results for optical and X-ray transitions.</i>
Inhalt:	- Bohrmodell und klassische Linienformen - Emission und Absorption von Strahlung - Thermisches Gleichgewicht und Einstein-Koeffizienten - Laser-Grundlagen - Linienbreite und Linienform - Moderne spektroskopische Methoden

	- Messtechniken für Strahlung - Optische und Röntgenübergänge (Fermis Goldene Regel) - Erzeugungsprinzipien der Synchrotronstrahlung - <i>Bohr model and classical line shapes</i> - <i>Emission and absorption of radiation</i> - <i>Thermal equilibrium and Einstein coefficients</i> - <i>Laser fundamentals</i> - <i>Spectral line width and line shape</i> - <i>Modern spectroscopic methods</i> - <i>Measurement techniques for radiation</i> - <i>Optical and X-ray transitions (Fermi's Golden Rule)</i> - <i>Synchrotron radiation generation principles</i>				
Lehrveranstaltungen und Lehrformen:	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)
	Light-Matter-Interactions: Atoms, Molecules & (Non) Linear Optics (V):	3	28	32	30
	Exercises in Light-Matter-Interactions: Atoms, Molecules & (Non) Linear Optics (Ü):	1	14	16	0
	Gesamtaufwand	4	42	48	30
Studien-/Prüfungsleistungen	Voraussetzungen: Keine Prüfungsart: Mündliche Prüfung (benotet) Prüfungssprache: Englisch oder Deutsch Abweichungen werden zu Beginn der Veranstaltung bekannt gegeben.				
Dauer	Ein Semester				
Häufigkeit des Angebots	Jährlich im Sommersemester				
Literatur:	Demtröder: Laser Spectroscopy				

Modultitel:	Methods of Modern X-ray Physics - Spectroscopy
Modulnummer/-kürzel:	PHY-MV-E604
Verwendbarkeit, Modultyp und Zuordnung zum Curriculum	Physik (M.Sc.): Wahlpflichtmodul (XU) Physics (M.Sc.): Wahlpflichtmodul (XU) Physics and Chemistry of Nanomaterials (M.Sc.): Wahlpflichtmodul
Voraussetzungen für die Teilnahme:	<u>Verbindlich:</u> Keine <u>Empfohlen:</u> Keine
Modulverantwortliche(r):	PD Dr. Michael Martins
Lehrende:	Mitglieder des Lehrkörpers aus dem Fachbereich Physik
Sprache:	Englisch oder Deutsch

Qualifikationsziele:	Nach erfolgreichem Abschluss des Moduls haben Studierende 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. <i>After successful completion of the module, 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>				
Inhalt:	Dazu gehört eine Einführung in die Thematik aber auch die Anwendungen von Röntgenstrahlung zur Untersuchung verschiedenster Systeme - Wechselwirkung von Röntgenstrahlung mit Materie - Absorption, Streuung, Auger-Meitner Effekt, Harte- und weiche Röntgenstrahlung - Beschleunigerbasierte Quellen für Röntgenstrahlung: Synchrotronstrahlung und Freie Elektronen Laser - Experimentelle spektroskopische Methoden - Röntgenoptik: Optische Materialien, EUV Lithographie, Ray-Tracing - Anwendung von Röntgenstrahlung - Kleine Quantensysteme, Oberflächen und Festkörper <i>This includes an introduction to the subject matter but also the applications of X-rays to study a wide variety of systems</i> - <i>Interaction of X-rays with matter</i> - <i>Absorption, scattering, Auger-Meitner effect, hard and soft X-rays</i> - <i>Accelerator-based sources of X-rays</i> - <i>Synchrotron radiation and free electron lasers</i> - <i>Experimental spectroscopic methods</i> - <i>X-ray optics</i> - <i>Optical materials, EUV lithography, Ray-Tracing</i> - <i>Application of X-ray Radiation</i> - <i>Small quantum systems, surfaces and solids</i>				
Lehrveranstaltungen und Lehrformen:	Methods of Modern X-ray Physics - Spectroscopy (V):			4 SWS	
	Exercises in Methods of Modern X-ray Physics - Spectroscopy (Ü):			2 SWS	
Arbeitsaufwand* (Teilleistungen und insgesamt)		LP	P (Std)	S (Std)	PV (Std)
	Methods of Modern X-ray Physics - Spectroscopy (V):	6	56	62	
	Exercises in Methods of Modern X-ray Physics - Spectroscopy (Ü):	2	28	32	62 0
	Gesamtaufwand	8	84	94	62
Studien-/Prüfungsleistungen	Voraussetzungen: Keine Prüfungsart: Klausur oder mündliche Prüfung (benotet) Prüfungssprache: Englisch oder Deutsch Abweichungen werden vor Beginn der Lehrveranstaltung bekannt gegeben.				
Dauer	Ein Semester				

Häufigkeit des Angebots	Jährlich im Wintersemester
Literatur:	Wird in der Veranstaltung bekannt gegeben; umfangreiches Folienskript.

Modultitel:	New Experiments with XFEL Sources				
Modulnummer/-kürzel:	PHY-MV-E605				
Verwendbarkeit, Modultyp und Zuordnung zum Curriculum	Physik (M.Sc.): Wahlpflichtmodul (XU) Physics (M.Sc.): Wahlpflichtmodul (XU)				
Voraussetzungen für die Teilnahme:	<u>Verbindlich:</u> Keine <u>Empfohlen:</u> Keine				
Modulverantwortliche(r):	Prof. Dr. Christian Bressler				
Lehrende:	Mitglieder des Lehrkörpers aus dem Fachbereich Physik				
Sprache:	Englisch oder Deutsch				
Qualifikationsziele:	Nach erfolgreichem Abschluss des Moduls können die Studierenden die physikalischen Grundlagen der FEL-Erzeugung erläutern, ultraschnelle Messmethoden beschreiben und anwenden, aktuelle XFEL-Experimente analysieren sowie eigene experimentelle Konzepte für XFEL-basierte Untersuchungen entwickeln und bewerten. <i>After successful completion of the module, students are able to explain the physical principles of FEL generation, describe and apply ultrafast measurement techniques, analyse current XFEL experiments, and develop and evaluate their own experimental concepts for XFEL-based investigations.</i>				
Inhalt:	- Spektroskopie und Streuung mit intensiver Röntgenstrahlung - Anwendungen in Atomphysik, Femtosekunden-Molekülphysik und Plasmaphysik - Grundlagen der FEL-Erzeugung - Ultraschnelle Zeitbestimmung zwischen unabhängigen Lichtquellen - Röntgenoptiken und Linsen - Röntgenemissionsspektroskopie - Detektorsysteme für XFEL-Experimente - <i>Spectroscopy and scattering with intense X-rays</i> - <i>Applications in atomic, femtosecond molecular and plasma physics</i> - <i>Fundamentals of FEL generation</i> - <i>Ultrafast timing techniques between independent light sources</i> - <i>X-ray optics and lenses</i> - <i>X-ray emission spectroscopy</i> - <i>Detector systems for XFEL experiments</i>				
Lehrveranstaltungen und Lehrformen:	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)
	New Experiments with XFEL Sources (V):	3 1	28 14	32 16	30 0

	Exercises in New Experiments with XFEL Sources (Ü):				
	Gesamtaufwand	4	42	48	30
Studien- /Prüfungsleistungen	Voraussetzungen: Keine Prüfungsart: Klausur oder mündliche Prüfung (benotet) Prüfungssprache: Englisch oder Deutsch Abweichungen werden zu Beginn der Veranstaltung bekannt gegeben.				
Dauer	Ein Semester				
Häufigkeit des Angebots	Jährlich im Sommersemester				
Literatur:	Wird in der Veranstaltung bekannt gegeben.				

Modultitel:	Nonlinear Optics
Modulnummer/-kürzel:	PHY-MV-E606
Verwendbarkeit, Modultyp und Zuordnung zum Curriculum	Physik (M.Sc.): Wahlpflichtmodul (XU) Physics (M.Sc.): Wahlpflichtmodul (XU)
Voraussetzungen für die Teilnahme:	<u>Verbindlich:</u> Keine <u>Empfohlen:</u> Keine
Modulverantwortliche(r):	Prof. Dr. Franz Xaver Kärtner, Prof. Dr. Tobias Herr
Lehrende:	Mitglieder des Lehrkörpers aus dem Fachbereich Physik
Sprache:	Englisch
Qualifikationsziele:	Nach erfolgreichem Abschluss des Moduls sind die Studierenden in der Lage, zentrale nichtlineare optische Prozesse quantitativ zu beschreiben und anzuwenden. Sie können Frequenzkonversionsprozesse, parametrische Verstärker und nichtlineare Messmethoden modellieren, simulieren und für konkrete Anwendungen auslegen. Darüber hinaus sind sie befähigt, Effekte höherer Ordnung und Starkfeld-Phänomene physikalisch zu interpretieren und kritisch zu bewerten. <i>After successful completion of the module, students will be able to quantitatively describe and apply key nonlinear optical processes. They can model, simulate, and design frequency conversion schemes, parametric amplifiers, and nonlinear measurement techniques. Furthermore, they are able to physically interpret and critically assess higher-order effects and strong-field phenomena.</i>
Inhalt:	- Nichtlineare optische Konzepte und Symmetrien - Nichtlineare Wellengleichung - Erzeugung der zweiten Harmonischen - Phasenanpassung und Quasi-Phasenanpassung - Optische Gleichrichtung - Manley-Rowe-Beziehungen - Summen- und Differenzfrequenzerzeugung

	- Optische parametrische Verstärkung - Ultraschnelle optische parametrische Verstärkung - Nichtlineare Effekte dritter Ordnung - Erzeugung der dritten Harmonischen - Kerr-Effekt - Selbstphasenmodulation und Selbstfokussierung - Stimulierte Raman- und Brillouin-Streuung - Optische Solitonen - Extreme nichtlineare Optik (Carrier-Wave-Rabi-Flopping, Oberwellenerzeugung höherer Ordnung) - Starkfeldphysik in Festkörpern - <i>Nonlinear optical concepts and symmetries</i> - <i>Nonlinear wave equation</i> - <i>Second harmonic generation</i> - <i>Phase matching and quasi-phase matching</i> - <i>Optical rectification</i> - <i>Manley–Rowe relations</i> - <i>Sum- and difference-frequency generation</i> - <i>Optical parametric amplification</i> - <i>Ultrafast optical parametric amplification</i> - <i>Third-order nonlinear effects</i> - <i>Third-harmonic generation</i> - <i>Kerr effect</i> - <i>Self-phase modulation and self-focusing</i> - <i>Stimulated Raman and Brillouin scattering</i> - <i>Optical solitons</i> - <i>Extreme nonlinear optics (carrier-wave Rabi flopping, high-harmonic generation)</i> - <i>Strong-field physics in solids</i>				
Lehrveranstaltungen und Lehrformen:	Nonlinear Optics (V): Exercises in Nonlinear Optics (Ü):				4 SWS 2 SWS
Arbeitsaufwand* (Teilleistungen und insgesamt)		LP	P (Std)	S (Std)	PV (Std)
	Nonlinear Optics (V):	6	56	62	62
	Exercises in Nonlinear Optics (Ü):	2	28	32	0
	Gesamtaufwand	8	84	94	62
Studien- /Prüfungsleistungen	Voraussetzungen: Keine Prüfungsart: Klausur oder mündliche Prüfung (benotet) Prüfungssprache: Englisch Abweichungen werden zu Beginn der Veranstaltung bekannt gegeben.				
Dauer	Ein Semester				
Häufigkeit des Angebots	Jährlich im Wintersemester				
Literatur:	- Nonlinear Optics, R. W. Boyd, Academic Press 2008; - The Elements of Nonlinear Optics, P. N. Butcher, Cambridge University Press, 1991.				

Modultitel:	Science and Technology at the European XFEL				
Modulnummer/-kürzel:	PHY-MV-E607				
Verwendbarkeit, Modultyp und Zuordnung zum Curriculum	Physik (M.Sc.): Wahlpflichtmodul (XU) Physics (M.Sc.): Wahlpflichtmodul (XU) Physics and Chemistry of Nanomaterials (M.Sc.): Wahlpflichtmodul				
Voraussetzungen für die Teilnahme:	<u>Verbindlich:</u> Keine <u>Empfohlen:</u> Keine				
Modulverantwortliche(r):	Prof. Dr. Markus Ilchen				
Lehrende:	Mitglieder des Lehrkörpers aus dem Fachbereich Physik				
Sprache:	Englisch				
Qualifikationsziele:	Nach erfolgreichem Abschluss des Moduls können die Studierenden die technologischen Grundlagen moderner Freie-Elektronen-Laser erklären, experimentelle Methoden der Röntgenlaserforschung einordnen und aktuelle Entwicklungen in der zeitaufgelösten und nichtlinearen Licht-Materie-Wechselwirkung bewerten. Sie sind in der Lage, wissenschaftliche Anwendungen des European XFEL im globalen Forschungskontext kritisch zu analysieren. <i>After successful completion of the module, students are able to explain the technological foundations of modern free-electron lasers, classify experimental methods in X-ray laser science, and assess recent developments in time-resolved and nonlinear light-matter interaction. They can critically analyze scientific applications of the European XFEL in a global research context.</i>				
Inhalt:	- Technologische Grundlagen von Freie-Elektronen-Lasern - Beschleunigerprinzipien für Röntgen-FELs - Röntgenoptik an FEL-Anlagen - Wissenschaftliche Instrumentierung für XFEL-Experimente - Nichtlineare Licht-Materie-Wechselwirkung im Röntgenbereich - Zeitaufgelöste Röntgenstudien - Anwendungen der FEL-basierten Röntgenphysik - Aktuelle und zukünftige Entwicklungen an XFEL-Anlagen - Vor-Ort-Besuch am European XFEL - <i>Technological principles of free-electron lasers</i> - <i>Accelerator concepts for X-ray FELs</i> - <i>X-ray optics at FEL facilities</i> - <i>Scientific instrumentation for XFEL experiments</i> - <i>Nonlinear light-matter interaction at X-ray wavelengths</i> - <i>Time-resolved X-ray studies</i> - <i>Applications of FEL-based X-ray physics</i> - <i>Overview of current and future XFEL developments</i> - <i>On-site visit to the European XFEL facility</i>				
Lehrveranstaltungen und Lehrformen:	5 Tage Blockveranstaltung:				2 SWS
Arbeitsaufwand* (Teilleistungen und insgesamt)		LP	P (Std)	S (Std)	PV (Std)
	5 Tage Blockveranstaltung	3	28	32	30

	Gesamtaufwand	3	28	32	30
Studien- /Prüfungsleistungen	Voraussetzungen: Keine Prüfungsart: Klausur (benotet) Prüfungssprache: Englisch Abweichungen werden zu Beginn der Veranstaltung bekannt gegeben.				
Dauer	Ein Semester				
Häufigkeit des Angebots	Jährlich im Sommersemester				
Literatur:	Umfangreiche Folien und Literatursammlung				

Modultitel:	Ultrafast Optical Physics
Modulnummer/-kürzel:	PHY-MV-E608
Verwendbarkeit, Modultyp und Zuordnung zum Curriculum	Physik (M.Sc.): Wahlpflichtmodul (XU) Physics (M.Sc.): Wahlpflichtmodul (XU)
Voraussetzungen für die Teilnahme:	<u>Verbindlich:</u> Keine <u>Empfohlen:</u> Keine
Modulverantwortliche(r):	Prof. Dr. Markus Drescher, Prof. Dr. Francesca Calegari
Lehrende:	Mitglieder des Lehrkörpers aus dem Fachbereich Physik
Sprache:	Englisch
Qualifikationsziele:	Nach dem erfolgreichen Absolvieren dieses Moduls kennen und verstehen die Studierende ultrakurze Phänomene. Zudem kennen sie 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. <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>
Inhalt:	- 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. In den zugeordneten Übungen werden gemeinsam Probleme gelöst, um die erworbenen Kenntnisse anhand von Beispielen und Aufgaben zu verfestigen.

	- Description of ultrashort optical pulses and their interaction with matter; - Generation of ultrashort pulses with lasers; - Basic principles of nonlinear optics; - Diagnostics of ultrashort optical pulses; - Ultrashort pulses in non-conventional spectral regions. In the assigned exercises, problems are solved together in order to consolidate the acquired knowledge by means of examples and tasks.				
Lehrveranstaltungen und Lehrformen:	Ultrafast Optical Physics (V): Exercises in Ultrafast Optical Physics (Ü):				2 SWS 2 SWS
Arbeitsaufwand* (Teilleistungen und insgesamt)		LP	P (Std)	S (Std)	PV (Std)
	Ultrafast Optical Physics (V):	3	28	32	30
	Exercises in Ultrafast Optical Physics (Ü):	2	28	32	0
	Gesamtaufwand	5	56	64	30
Studien- /Prüfungsleistungen	Voraussetzungen: Keine Prüfungsart: Mündliche Prüfung (benotet) Prüfungssprache: Englisch Abweichungen werden zu Beginn der Veranstaltung bekannt gegeben.				
Dauer	Ein Semester				
Häufigkeit des Angebots	Jährlich im Wintersemester				
Literatur:	Wird in der Veranstaltung bekannt gegeben.				

Modultitel:	Ultrafast Sources
Modulnummer/-kürzel:	PHY-MV-E609
Verwendbarkeit, Modultyp und Zuordnung zum Curriculum	Physik (M.Sc.): Wahlpflichtmodul (XU) Physics (M.Sc.): Wahlpflichtmodul (XU)
Voraussetzungen für die Teilnahme:	<u>Verbindlich</u> : Keine <u>Empfohlen</u> : Keine
Modulverantwortliche(r):	Prof. Dr. Franz Kärtner Prof. Dr. Francesca Calegari, Prof. Dr. Tobias Herr
Lehrende:	Mitglieder des Lehrkörpers aus dem Fachbereich Physik
Sprache:	Englisch
Qualifikationsziele:	Nach erfolgreichem Abschluss des Moduls sind die Studierenden in der Lage, ultrakurze Laserpulse quantitativ zu modellieren, zu erzeugen und zu charakterisieren. Sie können die physikalischen Prinzipien von Ultrakurzpuls-Oszillatoren und Verstärkern anwenden und die Ausbreitung ultrakurzer Pulse in linearen und nichtlinearen Medien analysieren. Darüber hinaus sind sie befähigt, Methoden der Ultrakurzzeitphysik in Anwendungen der Spektroskopie, Metrologie und Attosekundenforschung kritisch zu bewerten.

	After successful completion of the module, students will be able to quantitatively model, generate, and characterize ultrashort laser pulses. They can apply the physical principles of ultrafast laser oscillators and amplifiers and analyze pulse propagation in linear and nonlinear media. Furthermore, they are able to critically assess ultrafast physics methods for applications in spectroscopy, metrology, and attosecond science.				
Inhalt:	- Ultrakurze Pulseerzeugung - Pulsverstärkung und Pulsmanipulation - Anwendungen in Spektroskopie, Metrologie und Attosekundenwissenschaften - Ultrakurzpuls-Laserszillatoren und -verstärker - Pulsausbreitung in linearen und nichtlinearen Medien - <i>Ultrafast pulse generation</i> - <i>Pulse amplification and manipulation</i> - <i>Applications in spectroscopy, metrology and attosecond science</i> - <i>Ultrashort pulse laser oscillators and amplifiers</i> - <i>Pulse propagation in linear and nonlinear media</i>				
Lehrveranstaltungen und Lehrformen:	Ultrafast Sources (V): Exercises in Ultrafast Sources (Ü):				4 SWS 2 SWS
Arbeitsaufwand* (Teilleistungen und insgesamt)		LP	P (Std)	S (Std)	PV (Std)
	Ultrafast Sources (V):	6	56	62	62
	Exercises in Ultrafast Sources (Ü):	2	28	32	0
	Gesamtaufwand	8	84	94	62
Studien- /Prüfungsleistungen	Voraussetzungen: Keine Prüfungsart: Klausur oder mündliche Prüfung (benotet) Prüfungssprache: Englisch Abweichungen werden zu Beginn der Veranstaltung bekannt gegeben.				
Dauer	Ein Semester				
Häufigkeit des Angebots	Jährlich im Sommersemester				
Literatur:	Wird in der Veranstaltung bekannt gegeben.				

Modultitel:	X-ray and Ultrafast Photon Science
Modulnummer/-kürzel:	PHY-MV-E610
Verwendbarkeit, Modultyp und Zuordnung zum Curriculum	Physik (M.Sc.): Wahlpflichtmodul (XU) Physics (M.Sc.): Wahlpflichtmodul (XU) Physics and Chemistry of Nanomaterials (M.Sc.): Wahlpflichtmodul
Voraussetzungen für die Teilnahme:	<u>Verbindlich:</u> Keine <u>Empfohlen:</u> Keine
Modulverantwortliche(r):	PD Dr. Michael Martins, Prof. Dr. Markus Ilchen, Prof. Dr. Tais Gorkhover
Lehrende:	Mitglieder des Lehrkörpers aus dem Fachbereich Physik

Sprache:	Englisch oder Deutsch				
Qualifikationsziele:	Nach erfolgreichem Abschluss des Moduls können die Studierenden physikalische Grundlagen der Röntgen- und Ultrakurzpulsphysik erklären, experimentelle Konzepte mit optischen Lasern sowie Synchrotron- und FEL-Anlagen einordnen und grundlegende Methoden der Licht-Materie-Wechselwirkung anwenden. Sie sind in der Lage, aktuelle Forschungsergebnisse kritisch zu bewerten und deren technologische und gesellschaftliche Relevanz zu beurteilen. <i>After successful completion of the module, students are able to explain the physical principles of X-ray and ultrafast photon science, classify experimental concepts with optical lasers, synchrotron, and FEL facilities, and apply fundamental methods of light-matter interaction. They can critically assess current research results and evaluate their technological and societal relevance.</i>				
Inhalt:	- Grundlagen der Optik und der Licht-Materie-Wechselwirkung - Röntgenphysik - Bildgebungsverfahren - Röntgenoptik - Molekularphysik - Spektroskopie - Ultrakurze Prozesse im Femtosekunden- und Attosekundenbereich - Synchrotron-, Freie-Elektronen-Laser- und optische Lasertechnologien - <i>Fundamentals of optics and light–matter interaction</i> - <i>X-ray physics</i> - <i>Imaging techniques</i> - <i>X-ray optics</i> - <i>Molecular physics</i> - <i>Spectroscopy</i> - <i>Ultrafast processes in the femtosecond and attosecond regime</i> - <i>Synchrotron, free-electron laser and optical laser technologies</i>				
Lehrveranstaltungen und Lehrformen:	X-ray and Ultrafast Photon Science (V): Exercises in X-ray and Ultrafast Photon Science (Ü):				4 SWS 2 SWS
Arbeitsaufwand* (Teilleistungen und insgesamt)		LP	P (Std)	S (Std)	PV (Std)
	X-ray and Ultrafast Photon Science (V):	6	56	62	62
	Exercises in X-ray and Ultrafast Photon Science (Ü):	2	28	32	0
	Gesamtaufwand	8	84	94	62
Studien-/Prüfungsleistungen	Voraussetzungen: Keine Prüfungsart: Klausur oder mündliche Prüfung (benotet) Prüfungssprache: Englisch oder Deutsch Abweichungen werden zu Beginn der Veranstaltung bekannt gegeben.				
Dauer	Ein Semester				
Häufigkeit des Angebots	Jährlich im Sommersemester				
Literatur:	Wird in der Veranstaltung bekannt gegeben; umfangreiches Folienskript.				

Modultitel:	X-ray Atto-Chirality				
Modulnummer/-kürzel:	PHY-MV-E611				
Verwendbarkeit, Modultyp und Zuordnung zum Curriculum	Physik (M.Sc.): Wahlpflichtmodul (XU) Physics (M.Sc.): Wahlpflichtmodul (XU)				
Voraussetzungen für die Teilnahme:	<u>Verbindlich:</u> Keine <u>Empfohlen:</u> Keine				
Modulverantwortliche(r):	Prof. Dr. Markus Ilchen				
Lehrende:	Mitglieder des Lehrkörpers aus dem Fachbereich Physik				
Sprache:	Englisch oder Deutsch				
Qualifikationsziele:	Nach erfolgreichem Abschluss des Moduls können die Studierenden die physikalischen Grundlagen der Chiralität auf ultrakurzen Zeitskalen erläutern, experimentelle Methoden der attosekundenaufgelösten Röntgenlaserforschung einordnen und aktuelle Forschungsergebnisse zur ultraschnellen Licht-Materie-Wechselwirkung bewerten. Sie sind in der Lage, eigene experimentelle Konzepte für chirale Dynamikstudien zu entwickeln und kritisch zu diskutieren. <i>After successful completion of the module, students are able to explain the physical foundations of chirality on ultrafast time scales, classify experimental methods in attosecond X-ray laser science, and evaluate current research results on ultrafast light-matter interaction. They can develop and critically discuss their own experimental concepts for studying chiral dynamics.</i>				
Inhalt:	- Molekülphysik im Kontext der Röntgenlaserforschung und Spektroskopie - Chiralität und ultraschnelle Dynamik im Atto- und Femtosekundenbereich - Licht-Materie-Wechselwirkung auf extremen Zeitskalen und mit hoher Intensität - Technologien und Methodik der Röntgenlaserforschung - Experimentvorbereitung und Messtechniken an Röntgenlasern - Interpretation von Röntgenlaserexperimenten - Anwendungen in biomolekularen und lebenswissenschaftlichen Systemen - <i>Molecular physics in the context of X-ray laser research</i> - <i>Chirality and ultrafast dynamics on the attosecond and femtosecond timescale</i> - <i>Light-matter interaction and extreme time and intensity scales</i> - <i>X-ray laser technologies and methodologies</i> - <i>Experimental preparation and measurement techniques with extreme light sources</i> - <i>Interpretation of X-ray laser experiments</i> - <i>Applications to biomolecular and life-science systems</i>				
Lehrveranstaltungen und Lehrformen:	5 Tage Blockveranstaltung:				2 SWS
Arbeitsaufwand* (Teilleistungen und insgesamt)		LP	P (Std)	S (Std)	PV (Std)
	5 Tage Blockveranstaltung:	3	28	32	30
	Gesamtaufwand	3	28	32	30

Studien- /Prüfungsleistungen	Voraussetzungen: Keine Prüfungsart: Referat mit schriftlicher Ausarbeitung (benotet) Prüfungssprache: Englisch oder Deutsch Abweichungen werden vor Beginn der Lehrveranstaltung bekannt gegeben.
Dauer	Ein Semester
Häufigkeit des Angebots	Jedes Semester
Literatur:	Umfangreiche Folien und Literatursammlung

Modultitel:	Theory of Photon-Matter Interactions
Modulnummer/-kürzel:	PHY-MV-T601
Verwendbarkeit, Modultyp und Zuordnung zum Curriculum	Physik (M.Sc.): Wahlpflichtmodul (TP, XU) Physics (M.Sc.): Wahlpflichtmodul (TP, XU) Physics and Chemistry of Nanomaterials (M.Sc.): Wahlpflichtmodul
Voraussetzungen für die Teilnahme:	<u>Verbindlich</u> : Keine <u>Empfohlen</u> : Theoretische Physik I-III
Modulverantwortliche(r):	Prof. Dr. Robin Santra
Lehrende:	Mitglieder des Lehrkörpers aus dem Fachbereich Physik
Sprache:	Englisch
Qualifikationsziele:	Nach erfolgreichem Abschluss des Moduls können die Studierenden quantenmechanische Modelle der Licht-Materie-Wechselwirkung formulieren, Vielteilchensysteme im elektromagnetischen Feld analysieren, semiklassische und vollquantisierte Beschreibungen vergleichen sowie experimentelle Ergebnisse aus Laser- und Röntgenphysik theoretisch interpretieren. <i>After successful completion of the module, students are able to formulate quantum mechanical models of light-matter interaction, analyse many-particle systems in electromagnetic fields, compare semiclassical and fully quantized descriptions, and theoretically interpret experimental results from laser and X-ray physics.</i>
Inhalt:	- Kanonischer Formalismus - Quantentheorie des freien elektromagnetischen Feldes - Quantentheorie von Vielelektronensystemen - Wechselwirkung zwischen Photonenfeld und Elektronenfeld - Semiklassische Theorie der Licht-Materie-Wechselwirkung - Anwendungen der Licht-Materie-Wechselwirkung - <i>Canonical formalism</i> - <i>Quantum theory of the free electromagnetic field</i> - <i>Quantum theory of many-electron systems</i> - <i>Interaction between photon and electron fields</i> - <i>Semiclassical theory of light-matter interaction</i> - <i>Applications of light-matter interaction</i>

Lehrveranstaltungen und Lehrformen:	Theory of Photon-Matter Interactions (V): Exercises in Theory of Photon-Matter Interactions (Ü):				4 SWS 2 SWS
Arbeitsaufwand* (Teilleistungen und insgesamt)		LP	P (Std)	S (Std)	PV (Std)
	Theory of Photon-Matter Interactions (V):	6	56	62	62
	Exercises in Theory of Photon-Matter Interactions (Ü):	2	28	32	0
	Gesamtaufwand	8	84	94	62
Studien-/Prüfungsleistungen	Voraussetzungen: Keine Prüfungsart: Klausur (60%) und Übungsabschluss (40%) Prüfungssprache: Englisch Abweichungen werden zu Beginn der Veranstaltung bekannt gegeben.				
Dauer	Ein Semester				
Häufigkeit des Angebots	Jährlich im Wintersemester				
Literatur:	- 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.				