

# Modulhandbuch zum Masterstudiengang Physik der Universität Hamburg

Stand: 27. März 2018

Die nachfolgenden, detaillierten Modulbeschreibungen sind wie folgt strukturiert:

<b>Modultitel</b>					
Modulnummer/-kürzel	PHY-MV-...				
Semester	Wintersemester/Sommersemester				
Verwendbarkeit, Modultyp und Zuordnung zum Curriculum	<ul style="list-style-type: none"> <li>• M.Sc. Nanowissenschaften: Wahlpflichtmodul</li> <li>• M.Sc. Physik: Wahlpflichtmodul</li> </ul>				
Voraussetzungen für die Teilnahme	Verbindlich: Empfohlen:				
Modulverantwortliche(r)					
Lehrende					
Sprache	Welche Unterrichtssprache? Deutsch oder englisch?				
Qualifikationsziele	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.				
Inhalt	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	Wie viele SWS für V und/oder Ü und/oder S und/oder P? <ul style="list-style-type: none"> <li>• (V)</li> <li>• (Ü)</li> </ul>			SWS	SWS
Arbeitsaufwand* (Teilleistungen und	• •	LP	P (Std)	S (Std)	PV (Std)

insgesamt)	Gesamtaufwand				
Studien- /Prüfungsleistungen	Prüfungsart: Klausur oder mdl. Prüfung oder Referat und/oder Hausarbeit, ... Sprache der Prüfung:				
Dauer	1 Semester				
Häufigkeit des Angebots	Jedes Semester, jährlich oder alle 4 Semester?				
Literatur					

\* P = Präsenzstudium \* S = Selbststudium

\* PV = Prüfungsvorbereitung

### Pflichtmodule:

<b>Modultitel</b>	<b>Einarbeitungsprojekt</b>				
Modulnummer/-kürzel	PHY-MF-...-EP				
Semester	Wintersemester und Sommersemester				
Verwendbarkeit, Modultyp und Zuordnung zum Curriculum	<ul style="list-style-type: none"> <li>M.Sc. Physik: Pflichtmodul</li> </ul>				
Voraussetzungen für die Teilnahme	Verbindlich: s. FSBs zu § 4 Empfohlen:				
Modulverantwortliche(r)	N.N.				
Lehrende	Mitglieder des Lehrkörpers aus dem Fachbereich Physik				
Sprache	Deutsch oder Englisch				
Qualifikationsziele	<p>Im Einarbeitungsprojekt ist das Studium eines modernen Forschungsgebietes vertieft worden, aus dem das Thema der Masterarbeit stammen soll, mit dem Ziel der Einarbeitung in die wissenschaftliche Literatur auf dem aktuellen Stand.</p> <p>Die oder der Studierende erlernt das selbstständige Sammeln nötiger Informationen, von Hintergrundwissen und die Einarbeitung in ein Spezialthema.</p> <p>Für dieses Modul ist die oder der Studierende in eine wissenschaftliche Arbeitsgruppe eingebunden. Durch die Einbindung eine Arbeitsgruppe lernt sie oder er Gruppenarbeit und das optimale Nutzen informellen Wissens im Nahfeld.</p>				
Inhalt	<ul style="list-style-type: none"> <li>Einarbeitung in das Themengebiet;</li> <li>Einarbeitung in die theoretischen und/oder experimentellen Arbeitstechniken und Hilfsmittel;</li> <li>Bearbeitung von Teilaspekten;</li> <li>Formulierung eines Arbeits- und Zeitplans.</li> </ul>				
Lehrveranstaltungen und Lehrformen	<ul style="list-style-type: none"> <li>Selbstständige wissenschaftliche Arbeit unter Anleitung</li> </ul>				SWS
Arbeitsaufwand	<ul style="list-style-type: none"> <li>Selbstständige wissenschaftliche</li> </ul>	LP	P (Std)	S (Std)	PV (Std)

(Teilleistungen und insgesamt)	Arbeit unter Anleitung	15	-	390	60
	Gesamtaufwand	15	-	390	60
Studien-/Prüfungsleistungen	Prüfungsart: Projektabschluss Sprache der Prüfung: Deutsch oder Englisch				
Dauer	1 Semester				
Häufigkeit des Angebots	jedes Semester				
Literatur					

<b>Modultitel</b>	<b>Vorbereitungsprojekt</b>
Modulnummer/-kürzel	PHY-MF-...-VP
Semester	Wintersemester und Sommersemester
Verwendbarkeit, Modultyp und Zuordnung zum Curriculum	<ul style="list-style-type: none"> <li>M.Sc. Physik: Pflichtmodul</li> </ul>
Voraussetzungen für die Teilnahme	Verbindlich: Erfolgreiches Absolvieren des Moduls Einarbeitungsprojekt Empfohlen:
Modulverantwortliche(r)	N.N.
Lehrende	Mitglieder des Lehrkörpers aus dem Fachbereich Physik
Sprache	Deutsch oder Englisch
Qualifikationsziele	<p>Mit der Bearbeitung vorbereitender Aufgabenstellungen hat sich die oder der Studierende die speziellen experimentellen und/oder theoretischen Methoden und die Kenntnis des Gebietes so weit erarbeitet, dass sie oder er sie zur Bearbeitung von Fragestellungen, aus dem das Thema der Masterarbeit stammen soll, erfolgreich anwenden kann. Planung und Strukturierung des vorgesehenen Forschungsprojektes.</p> <p>Das dazugehörige Arbeitsgruppenseminar dient der Einarbeitung in Problemstellungen der aktuellen Forschung in dem Fach, in dem die Kandidatin oder der Kandidat die Masterarbeit durchzuführen beabsichtigt.</p> <p>Für dieses Modul ist die oder der Studierende in eine wissenschaftliche Arbeitsgruppe eingebunden. Durch die Einbindung in eine Arbeitsgruppe lernt sie oder er Gruppenarbeit und das optimale Nutzen informellen Wissens im Nahfeld.</p>
Inhalt	<p>Einführung in das wissenschaftliche Arbeiten und die fachlichen und methodischen Grundlagen für die Masterarbeit sowie Planung des in der Masterarbeit zu bearbeitenden Forschungsprojektes.</p> <p>Erwerb der notwendigen experimentellen bzw. theoretisch-mathematischen Fähigkeiten, die Voraussetzung für die erfolgreiche Absolvierung der Forschungsaufgabe der sich anschließenden Masterarbeit sind.</p> <p>Im Arbeitsgruppenseminar werden verschiedene Themen des Arbeitsgebietes der Arbeitsgruppe vorgetragen und diskutiert. Ein Vortrag (vorzugsweise in englischer Sprache) ist für alle Studierenden Pflicht.</p>

	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.				
Lehrveranstaltungen und Lehrformen	<ul style="list-style-type: none"> <li>Selbstständige wissenschaftliche Arbeit unter Anleitung</li> </ul>				SWS
Arbeitsaufwand (Teilleistungen und insgesamt)	<ul style="list-style-type: none"> <li>Selbstständige wissenschaftliche Arbeit unter Anleitung</li> </ul>	LP 15	P (Std) -	S (Std) 390	PV (Std) 60
	Gesamtaufwand	15	-	390	60
Studien-/Prüfungsleistungen	Prüfungsart: Vortrag/Kolloquium Sprache der Prüfung: Deutsch oder Englisch				
Dauer	1 Semester				
Häufigkeit des Angebots	jedes Semester				
Literatur					

<b>Modultitel</b>	<b>Abschlussmodul - Masterarbeit</b>				
Modulnummer/-kürzel	PHY-MF-MA				
Semester	Wintersemester und Sommersemester				
Verwendbarkeit, Modultyp und Zuordnung zum Curriculum	<ul style="list-style-type: none"> <li>M.Sc. Physik: Pflichtmodul</li> </ul>				
Voraussetzungen für die Teilnahme	Verbindlich: Erfolgreiches Absolvieren des Moduls Vorbereitungsprojekt Empfohlen:				
Modulverantwortliche(r)	N.N.				
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.				
Inhalt	Die Masterarbeit bildet den Abschluss des Masterstudiums. Die Masterarbeit besteht aus <ul style="list-style-type: none"> <li>der Durchführung eines Forschungs- bzw. wissenschaftlichen Entwicklungsprojekts;</li> <li>experimenteller und/oder theoretischer Bearbeitung des Themas;</li> <li>der Auswertung und der Aufbereitung der Ergebnisse;</li> <li>der schriftlichen Dokumentation der Ergebnisse durch Abfassen der Masterarbeit;</li> <li>einer mündlichen Präsentation der Ergebnisse in einem Vortrag und</li> </ul>				

	wissenschaftliche Diskussion. Die Ergebnisse sollen in der Regel zu einer wissenschaftlichen Publikation beitragen.				
Lehrveranstaltungen und Lehrformen	<ul style="list-style-type: none"> <li>Selbstständige wissenschaftliche Arbeit im Team</li> </ul>				SWS
Arbeitsaufwand (Teilleistungen und insgesamt)	<ul style="list-style-type: none"> <li>Selbstständige wissenschaftliche Arbeit im Team</li> </ul>	LP 30	P (Std) -	S (Std) 830	PV (Std) 70
	Gesamtaufwand	30	-	830	70
Studien-/Prüfungsleistungen	Prüfungsart: Masterarbeit (5/6), Kolloquium (1/6) Sprache der Prüfung: Deutsch oder Englisch				
Dauer	1 Semester				
Häufigkeit des Angebots	jedes Semester				
Literatur					

## Fachliche Vertiefungsphase:

### Astronomie und Astrophysik:

<b>Modultitel</b>	<b>Laborastrophysik</b>
Modulnummer/-kürzel	PHY-MV-A-E02
Semester	Wintersemester und Sommersemester
Verwendbarkeit, Modultyp und Zuordnung zum Curriculum	<ul style="list-style-type: none"> <li>M.Sc. Physik: Wahlpflichtmodul</li> </ul>
Voraussetzungen für die Teilnahme	Verbindlich: keine Empfohlen: keine
Modulverantwortliche(r)	Prof. Dr. Günter Wiedemann

Lehrende	Prof. Dr. Günter Wiedemann				
Sprache	Deutsch oder Englisch				
Qualifikationsziele	Verständnis der Laborastrophysik als ein Fundament der beobachtenden Astrophysik Fähigkeit zur: - Definition von notwendigen Laborexperimenten durch Umsetzung der Anforderungen aus der beobachtenden Astronomie; - Planung und Durchführung von astrophysikalisch relevanten Messungen im HS Labor; - Gewinnung und Bewertung von astrophysikalisch relevanten Messdaten unter realistischen Bedingungen.				
Inhalt	Einführung in Laborbetrieb & Ausstattung; Methoden der Laborastrophysik; Definition und Planung eines Messexperiments; Vorbereitung und Durchführung, Auswertung und Interpretation.				
Lehrveranstaltungen und Lehrformen	<ul style="list-style-type: none"> <li>Laborastrophysik (V)</li> <li>Übungen zur Laborastrophysik (Ü)</li> </ul>			2 SWS	2 SWS
Arbeitsaufwand (Teilleistungen und insgesamt)		LP	P (Std)	S (Std)	PV (Std)
	<ul style="list-style-type: none"> <li>Vorlesung</li> <li>Übung</li> </ul>	3	28	32	30
	Gesamtaufwand	5	56	64	30
Studien-/Prüfungsleistungen	Prüfungsart: Kolloquium Sprache der Prüfung: Deutsch oder Englisch Abweichungen werden zu Beginn der Veranstaltung bekannt gegeben.				
Dauer	1 Semester				
Häufigkeit des Angebots	jedes Semester				
Literatur	Wird in der Veranstaltung bekannt gegeben.				

<b>Modultitel</b>	<b>Astronomische Beobachtungsmethoden und -instrumente</b>
Modulnummer/-kürzel	PHY-MV-A-E12
Semester	Wintersemester und Sommersemester
Verwendbarkeit, Modultyp und Zuordnung zum Curriculum	<ul style="list-style-type: none"> <li>M.Sc. Physik: Wahlpflichtmodul</li> </ul>
Voraussetzungen für die Teilnahme	Verbindlich: keine Empfohlen: keine
Modulverantwortliche(r)	Prof. Dr. Günter Wiedemann
Lehrende	Prof. Dr. Günter Wiedemann
Sprache	Deutsch oder Englisch

Qualifikationsziele	Kenntnis der wichtigsten astronomischen Beobachtungsmethoden und Instrumente; Kenntnis moderner IR/optischer Technologien; Verständnis der Wechselwirkungen zwischen astronomischer Forschung und technischer/experimenteller Grundlagen.				
Inhalt	Grundlagen der beobachtenden Astronomie; Methoden (Photometrie, Spektroskopie, Astrometrie etc); Instrumente (Teleskope, Messinstrumente, Detektoren); Anwendungen in der beobachtenden Astrophysik; praktische Übungen. Durchführung des praxisnahen Teils in der Sternwarte (Bergedorf) möglich.				
Lehrveranstaltungen und Lehrformen	<ul style="list-style-type: none"> <li>Astronomische Beobachtungsmethoden und -instrumente (V)</li> <li>Übungen zu Astronomische Beobachtungsmethoden und -instrumente (Ü)</li> </ul>			2 SWS	2 SWS
Arbeitsaufwand (Teilleistungen und insgesamt)		LP	P (Std)	S (Std)	PV (Std)
	<ul style="list-style-type: none"> <li>Vorlesung</li> <li>Übung</li> </ul>	3	28	32	30
	Gesamtaufwand	2	28	32	-
		5	56	64	30
Studien-/Prüfungsleistungen	Prüfungsart: mündliche Prüfung Sprache der Prüfung: Deutsch oder Englisch Abweichungen werden zu Beginn der Veranstaltung bekannt gegeben.				
Dauer	1 Semester				
Häufigkeit des Angebots	jedes Semester				
Literatur	Wird in der Veranstaltung bekannt gegeben.				

<b>Modultitel</b>	<b>Cosmology</b>
Modulnummer/-kürzel	PHY-MV-A-E14
Semester	Wintersemester
Verwendbarkeit, Modultyp und Zuordnung zum Curriculum	<ul style="list-style-type: none"> <li>M.Sc. Physik: Wahlpflichtmodul</li> </ul>
Voraussetzungen für die Teilnahme	Verbindlich: keine Empfohlen: Einführung in die Astronomie I und II
Modulverantwortliche(r)	Prof. Dr. Markus Brüggen
Lehrende	Prof. Dr. Markus Brüggen
Sprache	Englisch

Qualifikationsziele	Problemlösungsstrategien; Analytisches Denken; Theoriebildung in der Physik; Anwendung mathematischer und informationstechnologischer Lösungsstrategien.				
Inhalt	Grundlagenwissen der Kosmologie in Theorie und Beobachtung.				
Lehrveranstaltungen und Lehrformen	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Cosmology (V)</li> <li>• Exercises in Cosmology (Ü)</li> </ul>				3 SWS 2 SWS
Arbeitsaufwand (Teilleistungen und insgesamt)		LP	P (Std)	S (Std)	PV (Std)
	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Vorlesung</li> <li>• Übung</li> </ul>	5	42	54	54
	Gesamtaufwand	2	28	32	-
		7	70	86	54
Studien-/Prüfungsleistungen	Prüfungsart: Klausur oder mündliche Prüfung Sprache der Prüfung: Englisch Abweichungen werden zu Beginn der Veranstaltung bekannt gegeben.				
Dauer	1 Semester				
Häufigkeit des Angebots	jährlich				
Literatur	Wird in der Veranstaltung bekannt gegeben.				

<b>Modultitel</b>	<b>Extragalactic Astrophysics</b>
Modulnummer/-kürzel	PHY-MV-A-E17
Semester	Wintersemester
Verwendbarkeit, Modultyp und Zuordnung zum Curriculum	<ul style="list-style-type: none"> <li>• M.Sc. Physik: Wahlpflichtmodul</li> </ul>
Voraussetzungen für die Teilnahme	Verbindlich: keine Empfohlen: Einführung in die Astronomie I und II
Modulverantwortliche(r)	Prof. Dr. Markus Brüggen
Lehrende	Prof. Dr. Markus Brüggen
Sprache	Englisch
Qualifikationsziele	Problemlösungsstrategien; Analytisches Denken; Bewertung von astronomischen Daten; Theoriebildung in der Physik; Anwendung mathematischer und informationstechnologischer Lösungsstrategien.
Inhalt	Grundlagenwissen der extragalaktischen Astronomie in Theorie und Beobachtung; Milchstraßensystem, großräumige Struktur, Galaxienbildung,



	Galaxien-haufen.				
Lehrveranstaltungen und Lehrformen	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Extragalactic Astrophysics (V)</li> <li>• Exercises in Extragalactic Astrophysics (Ü)</li> </ul>				3 SWS 2 SWS
Arbeitsaufwand (Teilleistungen und insgesamt)		LP	P (Std)	S (Std)	PV (Std)
	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Vorlesung</li> <li>• Übung</li> </ul>	5	42	54	54
	Gesamtaufwand	2	28	32	-
		7	70	86	54
Studien-/Prüfungsleistungen	Prüfungsart: Klausur oder mündliche Prüfung Sprache der Prüfung: Englisch Abweichungen werden zu Beginn der Veranstaltung bekannt gegeben.				
Dauer	1 Semester				
Häufigkeit des Angebots	jährlich				
Literatur	Wird in der Veranstaltung bekannt gegeben.				

<b>Modultitel</b>	<b>Seminar für Extragalaktische Astronomie</b>				
Modulnummer/-kürzel	PHY-MV-A-E19				
Semester	Wintersemester und Sommersemester				
Verwendbarkeit, Modultyp und Zuordnung zum Curriculum	<ul style="list-style-type: none"> <li>• M.Sc. Physik: Wahlpflichtmodul</li> </ul>				
Voraussetzungen für die Teilnahme	Verbindlich: keine Empfohlen: Einführung in die Astronomie I und II				
Modulverantwortliche(r)	Prof. Dr. Markus Brüggen				
Lehrende	Prof. Dr. Markus Brüggen				
Sprache	Englisch				
Qualifikationsziele	Überblick und Verstehen ausgewählter Themen aus der extragalaktischen Astronomie.				
Inhalt	Moderne Themen aus der aktuellen Forschung				
Lehrveranstaltungen und Lehrformen	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Seminar für Extragalaktische Astronomie (S)</li> </ul>				2 SWS
Arbeitsaufwand (Teilleistungen und insgesamt)		LP	P (Std)	S (Std)	PV (Std)
	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Seminar</li> </ul>	3	28	32	30
	Gesamtaufwand	3	28	32	30
Studien-/Prüfungsleistungen	Prüfungsart: Referat, schriftliche Ausarbeitung Sprache der Prüfung: Englisch Abweichungen werden zu Beginn der Veranstaltung bekannt gegeben.				

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

<b>Modultitel</b>	<b>Galaxy Evolution</b>				
Modulnummer/-kürzel	PHY-MV-A-E23				
Semester	Sommersemester				
Verwendbarkeit, Modultyp und Zuordnung zum Curriculum	<ul style="list-style-type: none"> <li>M.Sc. Physik: Wahlpflichtmodul</li> </ul>				
Voraussetzungen für die Teilnahme	Verbindlich: keine Empfohlen: Einführung in die Astronomie & Astrophysik I & II				
Modulverantwortliche(r)	Prof. Dr. Jochen Liske				
Lehrende	Prof. Dr. Jochen Liske				
Sprache	Englisch				
Qualifikationsziele	In diesem Modul nähern wir uns dem Thema sowohl von der theoretischen als auch von der beobachtungstechnischen Seite. Die Studierenden erhalten Einblick in 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.				
Inhalt	Die Entstehung und Entwicklung von Galaxien ist eines der wichtigsten Themen der heutigen astrophysikalischen Forschung.				
Lehrveranstaltungen und Lehrformen	<ul style="list-style-type: none"> <li>Galaxy Evolution (V)</li> <li>Exercises in Galaxy Evolution (Ü)</li> </ul>				3 SWS 2 SWS
Arbeitsaufwand (Teilleistungen und insgesamt)		LP	P (Std)	S (Std)	PV (Std)
	<ul style="list-style-type: none"> <li>Vorlesung</li> <li>Übung</li> </ul>	5 2	42 28	54 32	54 -
	Gesamtaufwand	7	70	86	54
Studien-/Prüfungsleistungen	Prüfungsart: Klausur oder mündliche Prüfung Sprache der Prüfung: Englisch Abweichungen werden zu Beginn der Veranstaltung bekannt gegeben.				
Dauer	1 Semester				
Häufigkeit des Angebots	jährlich				
Literatur	"Galaxy Formation and Evolution", Mo, van den Bosch and White, Cambridge University Press.				

<b>Modultitel</b>	<b>Seminar on Galaxy Evolution</b>
-------------------	------------------------------------

Modulnummer/-kürzel:	PHY-MV-A-E24				
Semester	Sommersemester				
Verwendbarkeit, Modultyp und Zuordnung zum Curriculum	<ul style="list-style-type: none"> <li>• M.Sc. Nanowissenschaften: Wahlpflichtmodul</li> <li>• M.Sc. Physik: Wahlpflichtmodul</li> </ul>				
Voraussetzungen für die Teilnahme	Verbindlich: keine Empfohlen: Einführung in die Astronomie & Astrophysik I & II				
Modulverantwortliche(r)	Prof. Dr. Jochen Liske				
Lehrende	Prof. Dr. Jochen Liske				
Sprache	Englisch				
Qualifikationsziele	Diskussion einiger Klassiker unter den wissenschaftlichen Veröffentlichungen zum Thema Galaxienentstehung und -entwicklung. Es werden sowohl theoretische als auch datenbezogene Paper behandelt.				
Inhalt	In diesem Seminar werden einige Klassiker unter den wissenschaftlichen Veröffentlichungen zum Thema Galaxienentstehung und -entwicklung diskutiert. Es werden sowohl theoretische als auch datenbezogene Paper behandelt.				
Lehrveranstaltungen und Lehrformen	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Seminar on Galaxy Evolution (S)</li> </ul>				2 SWS
Arbeitsaufwand (Teilleistungen und insgesamt)		LP	P (Std)	S (Std)	PV (Std)
	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Seminar</li> </ul>	3	28	32	30
	Gesamtaufwand	3	28	32	30
Studien-/Prüfungsleistungen	Prüfungsart: Referat, schriftliche Ausarbeitung Sprache der Prüfung: Englisch Abweichungen werden zu Beginn der Veranstaltung bekannt gegeben.				
Dauer	1 Semester				
Häufigkeit des Angebots	jährlich				
Literatur	Wird in der Veranstaltung bekannt gegeben.				

<b>Modultitel</b>	<b>Interstellar Medium and Star Formation</b>				
Modulnummer/-kürzel	PHY-MV-A-T10				
Semester	Wintersemester				
Verwendbarkeit, Modultyp und Zuordnung zum Curriculum	<ul style="list-style-type: none"> <li>• M.Sc. Physik: Wahlpflichtmodul</li> </ul>				
Voraussetzungen für die Teilnahme	Verbindlich: keine Empfohlen: Einführung in die Astrophysik I & II				
Modulverantwortliche(r)	Prof. Dr. Robi Banerjee				

Lehrende	Prof. Dr. Robi Banerjee				
Sprache	Deutsch oder Englisch				
Qualifikationsziele	Grundlegende Kenntnisse des interstellaren Mediums (u.a. Zusammensetzung, physikalische Eigenschaften, Dynamik) und der Entstehung von Sternen (u.a. Voraussetzungen, Zeitskalen, Thermodynamik, Entwicklung von Protosternen, Gasausflüsse). Kenntnisse und Anwendungen der hydrodynamischen und magneto-hydrodynamischen Gleichungen.				
Inhalt	ISM (three phases + physical properties); Molecular clouds (observations + physical properties); Conditions for star formation (i.e. cold dense regions, Jeans criterion, BE spheres) Turbulence (Larson's relation, Kolmogorov turbulence); Fragmentation; Initial mass function (IMF, reconstruction from observations); IMF (theoretical ideas, conversion from CMF to IMF); The collapse (1D calculations: Larson/Penston, Shu); Magnetic fields: mass-to-flux ratio, ambipolar diffusion; Magnetic fields: observational techniques (polarisation, Zeeman, RM); 3D collapse: disc formation, Jets; Jet launching; Observations of Jets; Formation of Massive stars; Feedback (HII-Regions, SN) + triggered star formation; Protostellar evolution (Hayashi track, classes); Evolution of protoplanetary discs; Planet formation (grav. instability, core accretion models).				
Lehrveranstaltungen und Lehrformen	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Interstellar Medium and Star Formation (V)</li> <li>• Exercises in Interstellar Medium and Star Formation (Ü)</li> </ul>			3 SWS	2 SWS
Arbeitsaufwand (Teilleistungen und insgesamt)		LP	P (Std)	S (Std)	PV (Std)
	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Vorlesung</li> <li>• Übung</li> </ul>	5	42	54	54
	Gesamtaufwand	2	28	32	-
		7	70	86	54
Studien-/Prüfungsleistungen	Prüfungsart: Klausur oder mündliche Prüfung Sprache der Prüfung: Deutsch oder Englisch Abweichungen werden zu Beginn der Veranstaltung bekannt gegeben.				
Dauer	1 Semester				
Häufigkeit des Angebots	jährlich				
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".				

<b>Modultitel</b>	<b>Einführung in die Allgemeine Relativitätstheorie (ART) und astrophysikalische Anwendungen</b>				
Modulnummer/-kürzel	PHY-MV-A-T16				
Semester	Sommersemester				
Verwendbarkeit, Modultyp und Zuordnung zum Curriculum	<ul style="list-style-type: none"> <li>M.Sc. Physik: Wahlpflichtmodul</li> </ul>				
Voraussetzungen für die Teilnahme	Verbindlich: keine Empfohlen: Einführung in die Astrophysik I & II				
Modulverantwortliche(r)	Prof. Dr. Robi Banerjee				
Lehrende	Prof. Dr. Robi Banerjee				
Sprache	Deutsch oder Englisch				
Qualifikationsziele	Grundlegendes Verständnis der Allgemeinen Relativitätstheorie, Verständnis und Beschreibung von gekrümmten Räumen in mehr Dimensionen, Verständnis von astrophysikalischen Phänomenen basierend auf der ART.				
Inhalt	curvilinear space; concepts of Special Relativity and SPACETIME; Equivalence Principle; curved SPACETIME; Geodesics; Tensor calculus; Einsteins' field equation. Applications: Schwarzschild geometry, Black Holes (BH), Kerr BHs, Accretion Discs, Gravitational lensing, Gravitational Waves, Gravitational Wave Sources, Cosmology				
Lehrveranstaltungen und Lehrformen	<ul style="list-style-type: none"> <li>Einführung in die Allgemeine Relativitätstheorie (ART) und astrophysikalische Anwendungen (V)</li> <li>Übungen zur Einführung in die Allgemeine Relativitätstheorie (ART) und astrophysikalische Anwendungen (Ü)</li> </ul>				4 SWS
					2 SWS
Arbeitsaufwand (Teilleistungen und insgesamt)		LP	P (Std)	S (Std)	PV (Std)
	<ul style="list-style-type: none"> <li>Vorlesung</li> <li>Übung</li> </ul>	6	56	62	62
	Gesamtaufwand	2	28	32	-
		8	84	94	62
Studien-/Prüfungsleistungen	Prüfungsart: Klausur Sprache der Prüfung: Deutsch oder Englisch Abweichungen werden zu Beginn der Veranstaltung bekannt gegeben.				
Dauer	1 Semester				
Häufigkeit des Angebots	jährlich				
Literatur	James B. Hartle: GRAVITY, An Introduction to Einstein's General Relativity; Ray d'Inverno: Introducing Einstein's Relativity; Bernhard Schutz: A First Course in General Relativity.				

## Beschleuniger- und Elementarteilchenphysik:

<b>Modultitel</b>	<b>Beschleunigerphysik I</b>				
Modulnummer/-kürzel	PHY-MV-BE-E09				
Semester	Wintersemester				
Verwendbarkeit, Modultyp und Zuordnung zum Curriculum	<ul style="list-style-type: none"> <li>• M.Sc. Nanowissenschaften: Wahlpflichtmodul</li> <li>• M.Sc. Physik: Wahlpflichtmodul</li> </ul>				
Voraussetzungen für die Teilnahme	Verbindlich: keine Empfohlen: keine				
Modulverantwortliche(r)	Prof. Dr. Wolfgang Hillert				
Lehrende	Mitglieder des Lehrkörpers aus dem Fachbereich Physik				
Sprache	Deutsch oder Englisch				
Qualifikationsziele	<p>Verständnis der Grundlagen der Beschleunigerphysik zu erlangen. Studierende sind in der Lage, eine einfache Beschleunigeranlage in ihren Grundelementen selbst zu konzipieren und ihre Schlüsselparameter zu berechnen. Im Einzelnen:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Verständnis des Funktionsprinzips verschiedener Arten von Teilchenbeschleunigern</li> <li>• Konzeption und Auslegung einfacher magnetoptischer Systeme</li> <li>• Grundkenntnisse der Hochfrequenztechnik und -technologie an Teilchenbeschleunigern</li> <li>• Kenntnisse der linearen Strahldynamik in Teilchenbeschleunigern und deren Anwendung</li> </ul>				
Inhalt	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Überblick über Beschleunigertypen: elektrostatische Beschleuniger und Induktionsbeschleuniger, DTL, RFQ, Alvarez, Linac, Zyklotron, Synchrotron, Mikrotron</li> <li>• Bauelemente von Beschleunigern: Teilchenquellen, Hochfrequenzsysteme und Beschleunigungsresonatoren, Magnete, Vakuumsysteme</li> <li>• Lineare Strahloptik: Bewegungsgleichungen, Matrixformalismus, Strahlparameter, Phasenraumdarstellung</li> <li>• Kreisbeschleuniger: periodische Magnetstrukturen, transversale und longitudinale Strahldynamik</li> <li>• Besichtigung von Beschleunigern auf dem DESY-Gelände (z.B. FLASH, PETRA III, HERA) zur Veranschaulichung und Vertiefung des Lernstoffes</li> </ul>				
Lehrveranstaltungen und Lehrformen	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Beschleunigerphysik I (V)</li> <li>• Übungen zur Beschleunigerphysik I (Ü)</li> </ul>			2 SWS	2 SWS
Arbeitsaufwand (Teilleistungen und insgesamt)		LP	P (Std)	S (Std)	PV (Std)
	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Vorlesung</li> <li>• Übung</li> </ul>	3	28	32	30
Gesamtaufwand		5	56	64	30

Studien-/Prüfungsleistungen	Prüfungsart: Klausur oder mündliche Prüfung Sprache der Prüfung: Deutsch oder Englisch Abweichungen werden zu Beginn der Veranstaltung bekannt gegeben.
Dauer	1 Semester
Häufigkeit des Angebots	jährlich
Literatur	<ul style="list-style-type: none"> <li>• S. Y. Lee: <i>Accelerator Physics</i>, 3<sup>rd</sup> edition, World Scientific, New Jersey 2011, ISBN 978-981-4374-94-1</li> <li>• K. Wille: <i>Physik der Teilchenbeschleuniger und Synchrotronstrahlungsquellen</i>, 2. überarb. und erw. Auflage, Teubner 1996, Stuttgart, ISBN 978-3-519-13087-1</li> <li>• K. Wille: <i>The physics of particle accelerators</i>, Oxford Univ. Press 2005, Oxford, ISBN 0-19-850550-7 (engl. Übersetzung, teuer!)</li> <li>• D. A. Edwards, M. J. Syphers: <i>An Introduction to the Physics of High Energy Accelerators</i>, Wiley &amp; Sons 1993, New York, ISBN 0-471-55163-5</li> <li>• F. Hinterberger: <i>Physik der Teilchenbeschleuniger und Ionenoptik</i>, 2. Ausgabe, Springer 2008, Berlin, ISBN 978-3-540-75281-3</li> <li>• H. Wiedemann: <i>Particle Accelerator Physics I</i>, 4<sup>th</sup> edition, Springer 2015, Berlin, ISBN 978-3-319-18316-9</li> <li>• A. W. Chao, M. Tigner: <i>Handbook of Accelerator Physics and Engineering</i>, 2<sup>nd</sup> edition, World Scientific, Singapore, 2013, ISBN 978-4417-17-4</li> </ul>

<b>Modultitel</b>	<b>Beschleunigerphysik II</b>
Modulnummer/-kürzel	PHY-MV-BE-E02
Semester	Sommersemester
Verwendbarkeit, Modultyp und Zuordnung zum Curriculum	<ul style="list-style-type: none"> <li>• M.Sc. Physik: Wahlpflichtmodul</li> </ul>
Voraussetzungen für die Teilnahme	Verbindlich: keine Empfohlen: Besuch der Vorlesung „Beschleunigerphysik I“
Modulverantwortliche(r)	Prof. Dr. Wolfgang Hillert
Lehrende	Prof. Dr. Wolfgang Hillert
Sprache	Deutsch oder Englisch
Qualifikationsziele	Verständnis wichtiger Zusammenhänge bei Planung und Weiterentwicklung von Beschleunigeranlagen: - Was beeinflusst die Strahlqualität? - Welche Verfahren existieren zur Verbesserung der Strahleigenschaften? - Wodurch werden erreichbare Energie, Luminosität und Strahlströme begrenzt?

	- Wie lassen sich hochintensive und kohärente Röntgenstrahlen erzeugen?				
Inhalt	<p>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 Strahloptik. Dies sollte mit Hilfe vorhandener sehr guter Lehrbücher problemlos möglich sein.</p> <p>Inhalte:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Synchrotronstrahlung und Strahlungsgleichgewicht</li> <li>- Synchrotronstrahlungsquellen</li> <li>- Raumladungseffekte (direkte Raumladung, Wandeffekte, Ionen)</li> <li>- Luminosität und Kollider</li> <li>- Phasenraumkühlung (Stochastisches Kühlen, Elektronenkühlen)</li> <li>- Kollektive und nichtlineare Phänomene und Instabilitäten</li> <li>- Freie-Elektronen-Laser</li> </ul>				
Lehrveranstaltungen und Lehrformen	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Beschleunigerphysik II (V)</li> <li>• Übungen zur Beschleunigerphysik II (Ü)</li> </ul>			2 SWS	2 SWS
Arbeitsaufwand (Teilleistungen und insgesamt)		LP	P (Std)	S (Std)	PV (Std)
	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Vorlesung</li> <li>• Übung</li> </ul>	3	28	32	30
	Gesamtaufwand	2	28	32	-
		5	56	64	30
Studien-/Prüfungsleistungen	<p>Prüfungsart: Klausur oder mündliche Prüfung          Sprache der Prüfung: Deutsch oder Englisch          Abweichungen werden zu Beginn der Veranstaltung bekannt gegeben.</p>				
Dauer	1 Semester				
Häufigkeit des Angebots	jährlich				
Literatur	<ul style="list-style-type: none"> <li>• H. Wiedemann, Particle Accelerator Physics (Third Edition), Springer 2007, Berlin, ISBN 978-3-5-540-490343-2</li> <li>• D. A. Edwards, M. J. Syphers, An Introduction to the Physics of High Energy Accelerators, Wiley &amp; Sons 1993, New York, ISBN 0-471-55163-5</li> <li>• F. Hinterberger, Physik der Teilchenbeschleuniger und Ionenoptik (2. Ausgabe), Springer 2008, Berlin, ISBN 978-3-540-75282-0</li> <li>• K. Wille, Physik der Teilchenbeschleuniger und Synchrotronstrahlungsquellen, 2. überarb. und erw. Aufl., Teubner 1996, Stuttgart, ISBN 3-519-13087-4 (vergriffen)</li> <li>• K. Wille, The physics of particle accelerators, Oxford Univ. Press 2005, Oxford, ISBN 0-19-850550-7</li> <li>• S. Y. Lee, Accelerator Physics (Third Edition), World Scientific 2012, New Jersey, ISBN 978-981-4374-94-1</li> </ul>				



	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 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</li> <li>• Script of the lecture "Accelerator Physics I"</li> </ul>
--	--

<b>Modultitel</b>	<b>Experimental Astroparticle Physics</b>				
Modulnummer/-kürzel	PHY-MV-BE-E05				
Semester	Wintersemester				
Verwendbarkeit, Modultyp und Zuordnung zum Curriculum	<ul style="list-style-type: none"> <li>• M.Sc. Physik: Wahlpflichtmodul</li> </ul>				
Voraussetzungen für die Teilnahme	Verbindlich: keine Empfohlen: Astrophysik				
Modulverantwortliche(r)	Prof. Dr. Dieter Horns; Prof. Dr. Caren Hagner				
Lehrende	Prof. Dr. Dieter Horns; Prof. Dr. Caren Hagner				
Sprache	Deutsch oder Englisch				
Qualifikationsziele	Die Studierenden sind fähig, konkrete Experimente und deren Messungen in einen Zusammenhang zu setzen. Die Studierenden sind in der Lage, kritisch zu hinterfragen, welche Interpretation der Messergebnisse angebracht ist. Die Studierenden 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.				
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.).				
Lehrveranstaltungen und Lehrformen	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Experimental Astroparticle Physics (V)</li> <li>• Exercises in Experimental Astroparticle Physics (Ü)</li> </ul>			4 SWS	2 SWS
Arbeitsaufwand (Teilleistungen und insgesamt)		LP	P (Std)	S (Std)	PV (Std)
	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Vorlesung</li> <li>• Übung</li> </ul>	6	56	62	62
	Gesamtaufwand	8	84	94	62
Studien-/Prüfungsleistungen	Prüfungsart: Vortrag und mündliche Prüfung Sprache der Prüfung: Deutsch oder Englisch Abweichungen werden zu Beginn der Veranstaltung bekannt gegeben.				

Dauer	1 Semester
Häufigkeit des Angebots	jährlich
Literatur	Wird in der Vorlesung bekanntgegeben

<b>Modultitel</b>	<b>Physik und Anwendungen von Laser-Plasma-Beschleunigern: Von medizinischer Bildgebung bis Hochenergiephysik</b>	
Modulnummer/-kürzel	PHY-MV-BE-E15	
Semester	Sommersemester	
Verwendbarkeit, Modultyp und Zuordnung zum Curriculum	<ul style="list-style-type: none"> <li>M.Sc. Physik: Wahlpflichtmodul</li> </ul>	
Voraussetzungen für die Teilnahme	Verbindlich: keine Empfohlen: keine	
Modulverantwortliche(r)	Prof. Dr. Florian Grüner	
Lehrende	Prof. Dr. Florian Grüner	
Sprache	Deutsch oder Englisch	
Qualifikationsziele	<p>Nach erfolgreichem Absolvieren des Moduls haben die Studierenden einen vertieften Einblick in folgende Teilgebiete der Physik:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Grundlagen der sog. Plasma-Wakefield-Beschleunigung: Woher kommen die ultrahohen Feldgradienten? Warum sind die Elektronenbunche so kurz?</li> <li>- Anwendungen: Synchrotron- und Undulatorstrahlung Freie-Elektronen-Laser (FEL) "table-top" FELs getrieben von Laser-Plasma-Beschleunigern medizinische Bildgebung mit laser-basierter Undulatorquellen offene Fragen bei laser-basierten Hochenergie-Collidern</li> </ul>	
Inhalt	<p>Neben modernen und wohl etablierten Beschleunigern entsteht ein neues Gebiet in der Beschleunigerphysik: Laser-Plasma-Beschleuniger. Sie basieren auf sog. Hochleistungslasern, die Elektronen in Plasmen von wenigen Zentimetern Länge auf GeV-Energien beschleunigen können. Diese Kompaktheit verspricht neue Anwendungen, von medizinischer Bildgebung über brillante Röntgenquellen, bis hin zur Hochenergiephysik. Wir diskutieren dabei im Detail die zugrundeliegende Physik mit Schwerpunkt auf den brillanten Röntgenquellen, insbesondere die Verknüpfung von Laser-Plasmabeschleunigern und Freien-Elektronen-Lasern.</p>	
Lehrveranstaltungen und Lehrformen	<ul style="list-style-type: none"> <li>Physik und Anwendungen von Laser-Plasma-Beschleunigern: Von medizinischer Bildgebung bis Hochenergiephysik (V)</li> <li>Übungen zur Physik und Anwendungen von Laser-Plasma-Beschleunigern: Von medizinischer Bildgebung</li> </ul>	<p>4 SWS</p> <p>2 SWS</p>

	bis Hochenergiephysik (Ü)				
Arbeitsaufwand (Teilleistungen und insgesamt)	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Vorlesung</li> <li>• Übung</li> </ul>	LP	P (Std)	S (Std)	PV (Std)
		6	56	62	62
	Gesamtaufwand	2	28	32	-
		8	84	94	62
Studien- /Prüfungsleistungen	Prüfungsart: Klausur oder mündliche Prüfung Sprache der Prüfung: Deutsch oder Englisch Abweichungen werden zu Beginn der Veranstaltung bekannt gegeben.				
Dauer	1 Semester				
Häufigkeit des Angebots	jährlich				
Literatur	Wird in der Vorlesung bekanntgegeben				

<b>Modultitel</b>	<b>Teilchenphysik und der Large Hadron Collider (LHC): Beschleuniger, Detektoren und Physik</b>				
Modulnummer/-kürzel	PHY-MV-BE-E18				
Semester	Sommersemester				
Verwendbarkeit, Modultyp und Zuordnung zum Curriculum	<ul style="list-style-type: none"> <li>• M.Sc. Physik: Wahlpflichtmodul</li> </ul>				
Voraussetzungen für die Teilnahme	Verbindlich: keine Empfohlen: Teilchenphysik für Fortgeschrittene				
Modulverantwortliche(r)	Prof. Dr. Johannes Haller				
Lehrende	Prof. Dr. Johannes Haller				
Sprache	Deutsch oder Englisch				
Qualifikationsziele	Vertieftes Verständnis der aktuellen Themen der Teilchenphysik, insbesondere der Forschungsthemen, die am LHC untersucht werden. Vorbereitung auf mögliche Bachelor-, Master- oder Doktorarbeiten im genannten Gebiet.				
Inhalt	Einleitung, Beschleuniger und der LHC, Grundlagen von pp-Kollisionen, Spurdetektoren am LHC, QCD- und elektroschwache Prozesse am LHC, Kalorimeter der LHC Detektoren, Trigger- und Datennahmesysteme, Physik des Top-Quark, Suche und Studium des Higgs-Bosons, Suche nach Neuer Physik, Suche nach Supersymmetrie, Ausblick				
Lehrveranstaltungen und Lehrformen	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Teilchenphysik und der Large Hadron Collider (LHC): Beschleuniger, Detektoren und Physik (V)</li> <li>• Übungen zur Teilchenphysik und der Large Hadron Collider (LHC): Beschleuniger, Detektoren und Physik (Ü)</li> </ul>				4 SWS 2 SWS
Arbeitsaufwand (Teilleistungen und insgesamt)	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Vorlesung</li> <li>• Übung</li> </ul>	LP	P (Std)	S (Std)	PV (Std)
		6	56	62	62
		2	28	32	-

	Gesamtaufwand	8	84	94	62
Studien- /Prüfungsleistungen	Prüfungsart: Klausur oder mündliche Prüfung Sprache der Prüfung: Deutsch oder Englisch Abweichungen werden zu Beginn der Veranstaltung bekannt gegeben.				
Dauer	1 Semester				
Häufigkeit des Angebots	jährlich				
Literatur	„Elementarteilchenphysik“, Berger, Springer, 2006 „Collider Physics“, Barger + Phillips, Addison Wesley „Quarks and Leptons“, Halzen + Martin, Wiley, 1984 „Feynman-Graphen und Eichtheorien für Experimentalphysiker“, Schmüser, Springer, 1988 „Physics at the Terascale“, Brock+ Schörner-Sadenius (Eds.) Wiley, 2011 The ATLAS Experiment at the CERN LHC, JINST 3:S08003, 2008 The CMS Experiment at the CERN LHC, JINST 3:S08004, 2008				

<b>Modultitel</b>	<b>Quantenmechanik II</b>				
Modulnummer/-kürzel	PHY-MV-BE-T01				
Semester	Wintersemester				
Verwendbarkeit, Modultyp und Zuordnung zum Curriculum	<ul style="list-style-type: none"> <li>• M.Sc. Nanowissenschaften: Wahlpflichtmodul</li> <li>• M.Sc. Physik: Wahlpflichtmodul</li> </ul>				
Voraussetzungen für die Teilnahme	Verbindlich: keine Empfohlen: Vorlesung Theoretische Physik II (Quantenmechanik I)				
Modulverantwortliche(r)	Prof. Dr. Peter Schmelcher				
Lehrende	Mitglieder des Lehrkörpers aus dem Fachbereich Physik				
Sprache	Deutsch oder Englisch				
Qualifikationsziele	Systematische Behandlung der quantenmechanischen Beschreibung von Vielteilchensystemen und der relativistischen Quantenmechanik; Verständnis des Konzepts von Feldoperatoren in zweiter Quantisierung; Fähigkeit zur mathematischen Beschreibung relativistischer Teilchen (Fermionen und Bosonen).				
Inhalt	Zweite Quantisierung; Mehrteilchenzustände; Fock-Raum; Feldoperatoren; Fermionen und Bosonen; Streutheorie und Korrelationsfunktionen; relativistische Wellengleichungen: Klein-Gordon und Dirac-Gleichung; Kovarianz und Symmetrien der Dirac-Gleichung; Dirac-Gleichung im elektromagnetischen Feld: Exakte Lösungen und Strahlungskorrekturen				
Lehrveranstaltungen und Lehrformen	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Quantenmechanik II (V)</li> <li>• Übungen zur Quantenmechanik II (Ü)</li> </ul>			4 SWS	2 SWS
Arbeitsaufwand	LP	P (Std)	S (Std)	PV (Std)	

(Teilleistungen und insgesamt)	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Vorlesung</li> <li>• Übung</li> </ul>	6	56	62	62
	Gesamtaufwand	2	28	32	-
		8	84	94	62
Studien-/Prüfungsleistungen	Prüfungsart: Klausur oder mündliche Prüfung Sprache der Prüfung: Deutsch oder Englisch Abweichungen werden zu Beginn der Veranstaltung bekannt gegeben.				
Dauer	1 Semester				
Häufigkeit des Angebots	jährlich				
Literatur	Vorlesungsskript / notes of the lecturer; C. Cohen-Tannoudji, B. Diu, and F. Laloe, Quantum Mechanics, Volume 2; John Wiley & Sons, 1991; F. Schwabl, Quantenmechanik für Fortgeschrittene (QM II), Springer, 2008; S. Weinberg, Quantum Mechanics, Cambridge University Press, 2013.				

<b>Modultitel</b>	<b>Physics of the Standard Model</b>				
Modulnummer/-kürzel	PHY-MV-BE-T02				
Semester	Sommersemester				
Verwendbarkeit, Modultyp und Zuordnung zum Curriculum	<ul style="list-style-type: none"> <li>• M.Sc. Physik: Wahlpflichtmodul</li> </ul>				
Voraussetzungen für die Teilnahme	Verbindlich: keine Empfohlen: Quantenmechanik, Kern- und Teilchenphysik, Quantum Field Theory I, Advanced Particle Physics				
Modulverantwortliche(r)	Prof. Dr. Gudrid Moortgat-Pick				
Lehrende	Mitglieder des Lehrkörpers aus dem Fachbereich Physik				
Sprache	Englisch				
Qualifikationsziele	Nach erfolgreichem Absolvieren des Moduls sind die Studierenden auf Forschungsprojekte (z.B. Masterarbeit) in der theoretischen Teilchenphysik vorbereitet.				
Inhalt	Yang-Mills Theorien, QCD-Phänomenologie, Renormierung, Verknüpfung von Kopplungen, elektroschwache Wechselwirkungen, Higgs-Mechanismus, Collider- Phänomenologie, Monte Carlo Simulation, Flavourphysik, CKM-Matrix, CP-Verletzung, Neutrino-physik und Oszillationen, Anomalien, BL, starker CP, Nachteile des Standardmodells.				
Lehrveranstaltungen und Lehrformen	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Physics of the Standard Model (V)</li> <li>• Exercises in Physics of the Standard Model (Ü)</li> </ul>			3 SWS	1 SWS
Arbeitsaufwand (Teilleistungen und insgesamt)	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Vorlesung</li> <li>• Übung</li> </ul>	LP	P (Std)	S (Std)	PV (Std)
		5	42	54	54
		1	14	16	-

	Gesamtaufwand	6	56	70	54
Studien- /Prüfungsleistungen	Prüfungsart: Klausur oder mündliche Prüfung Sprache der Prüfung: Englisch Abweichungen werden zu Beginn der Veranstaltung bekannt gegeben.				
Dauer	1 Semester				
Häufigkeit des Angebots	jährlich				
Literatur	Quantum Field theory and the Standard Model, Matthew Schwartz The Standard Model, a primer, Burgess and Moore A modern introduction to QFT, Maggiore An introduction to QFT, Peskin and Schroeder				

<b>Modultitel</b>	<b>Quantenfeldtheorie I</b>
Modulnummer/-kürzel	PHY-MV-BE-T04
Semester	Wintersemester
Verwendbarkeit, Modultyp und Zuordnung zum Curriculum	<ul style="list-style-type: none"> <li>• M.Sc. Physik: Wahlpflichtmodul</li> </ul>
Voraussetzungen für die Teilnahme	Verbindlich: keine Empfohlen: Theoretische Physik I und II
Modulverantwortliche(r)	Prof. Dr. Gleb Arutyunov
Lehrende	Mitglieder des Lehrkörpers aus dem Fachbereich Physik
Sprache	Deutsch oder Englisch
Qualifikationsziele	<p>Studierende haben die theoretische als auch technische Einführung in die Quantenfeldtheorie erhalten. Sie kennen Kanonische Quantisierung und Pfadintegralquantisierungsverfahren für bosonische und fermionische Felder mit Schwerpunkt auf Symmetrien, Funktionaltechniken mit dem erzeugenden Funktional und Korrelationsfunktionen und Störungstheorien in Form von Feynman-Diagrammen.</p> <p>Die Lernergebnisse umfassen die Kenntnisse der Euler-Lagrange-Gleichungen, der Poincaré und internen Symmetrien, des Noether-Theorems, der diskrete Symmetrien, der kanonischen Quantisierung der Klein-Gordon-, Dirac- und elektromagnetischer Felder, das Konzept der Eichinvarianz, der asymptotischen Zustände und S-Matrix, der Pfadintegralquantisierung, die Definition von Korrelationsfunktionen, des erzeugenden Funktionals von Korrelationsfunktionen, des Wick-Theorems, von Feynman-Diagrammen, von Selbstenergie- und Vertexfunktionen sowie von Dimensionsregularisierung und dem Divergenzgrad von Feynman-Integralen.</p> <p>Zu einer gegebenen Lagrange-Dichte sind die Studenten in der Lage, ihre globalen und lokalen Symmetrien zu identifizieren, um die dynamischen Invarianten zu bestimmen, die Feynman-Regeln abzuleiten und die Feynman-Diagramme für einen gegebenen Streuprozess oder eine</p>

	Korrelationsfunktion zu konstruieren.				
Inhalt	Ziel des Kurses ist es, sowohl theoretisch als auch technisch eine Einführung in die Quantenfeldtheorie zu geben. Kanonische Quantisierung und Pfadintegralquantisierungsverfahren für bosonische und fermionische Felder werden eingehend erörtert. Ein Schwerpunkt wird auf Symmetrien, Funktionaltechniken mit dem erzeugenden Funktional und Korrelationsfunktionen und auf Störungstheorie in Form von Feynman-Diagrammen gelegt werden. Eine Vogelperspektive auf Renormalisierungsverfahren wird angeboten. Die Vorlesung wird mit Übungen ergänzt.				
Lehrveranstaltungen und Lehrformen	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Quantenfeldtheorie I (V)</li> <li>• Übungen zur Quantenfeldtheorie I (Ü)</li> </ul>			4 SWS	2 SWS
Arbeitsaufwand (Teilleistungen und insgesamt)		LP	P (Std)	S (Std)	PV (Std)
	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Vorlesung</li> <li>• Übung</li> </ul>	6	56	62	62
	Gesamtaufwand	2	28	32	-
		8	84	94	62
Studien-/Prüfungsleistungen	Prüfungsart: Klausur oder mündliche Prüfung Sprache der Prüfung: Deutsch oder Englisch Abweichungen werden zu Beginn der Veranstaltung bekannt gegeben.				
Dauer	1 Semester				
Häufigkeit des Angebots	jährlich				
Literatur	Vorlesungsskript / notes of the lecturer; T. Lancaster and S. J. Blundell, Quantum Field Theory for the Gifted Amateur, Oxford University Press, 2014; M. E. Peskin and D. V. Schroeder, An Introduction to Quantum Field Theory, Perseus Books, The Advanced Book Program, 1995.				

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

Qualifikationsziele	<p>Vertieftes und erweitertes Wissen der Quantenfeldtheorie. Die Studierenden kennen Renormierungstechniken, nicht-abelsche Eichtheorien und deren kovariante Quantisierungsmethoden. Sie können die spontane Symmetriebrechung und topologische Lösungen in der Quantenfeldtheorie diskutieren.</p> <p>Das Lernergebnis beinhaltet weiterhin das Verständnis der Grundlagen der S-Matrix der Quantenelektrodynamik, einschließlich der Selbstenergie des Elektrons, der Vakuumpolarisation und des anomalen magnetischen Momentes des Elektrons. Weiterhin umfasst es das Wissen über die kovariante Faddeev-Popov-Methode und die BRST-Symmetrie. Das Goldstone-Theorem und das Higgs-Phänomen gehören auch zum Curriculum.</p> <p>Die Studenten werden in der Lage sein, Renormierungsgruppengleichungen für die Vertex- und Greensfunktionen herzuleiten, um die Betafunktion in der Quantenelektrodynamik zu einer Schleife und in einer generischen nicht-abelschen Eichtheorie zu berechnen. Sie werden ein Verständnis des Landau-Pols und der asymptotischen Freiheit erlangen und die Konsequenzen der spontanen Brechung globaler und lokaler Symmetrien erklären können.</p>				
Inhalt	<p>Ziel des Kurses ist es, das Wissen der Quantenfeldtheorie zu vertiefen und zu erweitern sowie die Kompetenz der Studierenden weiter zu entwickeln. Dies beinhaltet eine durchgehende Behandlung von Renormierungstechniken, Einführung in nicht-abelsche Eichtheorien und deren kovariante Quantisierungsmethoden, Diskussion der spontanen Symmetriebrechung und topologische Lösungen in der Quantenfeldtheorie. Die Vorlesung wird durch Übungen ergänzt.</p>				
Lehrveranstaltungen und Lehrformen	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Quantenfeldtheorie II (V)</li> <li>• Übungen zur Quantenfeldtheorie II (Ü)</li> </ul>			4 SWS	2 SWS
Arbeitsaufwand (Teilleistungen und insgesamt)		LP	P (Std)	S (Std)	PV (Std)
	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Vorlesung</li> <li>• Übung</li> </ul>	6	56	62	62
	Gesamtaufwand	2	28	32	-
		8	84	94	62
Studien-/Prüfungsleistungen	<p>Prüfungsart: Klausur oder mündliche Prüfung          Sprache der Prüfung: Deutsch oder Englisch          Abweichungen werden zu Beginn der Veranstaltung bekannt gegeben.</p>				
Dauer	1 Semester				
Häufigkeit des Angebots	jährlich				
Literatur	<p>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.</p>				

<b>Modultitel</b>	<b>Theory of General Relativity</b>
Modulnummer/-kürzel	PHY-MV-BE-T07



Semester	Wintersemester				
Verwendbarkeit, Modultyp und Zuordnung zum Curriculum	<ul style="list-style-type: none"> <li>M.Sc. Physik: Wahlpflichtmodul</li> </ul>				
Voraussetzungen für die Teilnahme	Verbindlich: keine Empfohlen: klassische Feldtheorie, Quantenmechanik, Kern- und Teilchenphysik				
Modulverantwortliche(r)	Prof. Dr. Günter Sigl				
Lehrende	Mitglieder des Lehrkörpers aus dem Fachbereich Physik				
Sprache	Englisch				
Qualifikationsziele	Der Kurs vermittelt die Grundlagen der allgemeinen Relativitätstheorie. Die Teilnahme am Kurs soll den Studierenden in die Lage versetzen, Forschungsprojekte zu Themen der Feldtheorie, theoretischen Kosmologie und mathematischen Physik zum Beispiel im Rahmen einer Master Thesis in Angriff zu nehmen.				
Inhalt	Relativitätsprinzipien, spezielle Relativitätstheorie, Grundlagen der Differentialgeometrie, Einstein Gleichungen, Schwarzschild-Metrik, experimentelle Tests der Gravitationstheorie, Gravitationswellen, Grundlagen der und Anwendungen auf die Kosmologie.				
Lehrveranstaltungen und Lehrformen	<ul style="list-style-type: none"> <li>Theory of General Relativity (V)</li> <li>Exercises in Theory of General Relativity (Ü)</li> </ul>			4 SWS	2 SWS
Arbeitsaufwand (Teilleistungen und insgesamt)		LP	P (Std)	S (Std)	PV (Std)
	<ul style="list-style-type: none"> <li>Vorlesung</li> <li>Übung</li> </ul>	6	56	62	62
	Gesamtaufwand	2	28	32	-
		8	84	94	62
Studien-/Prüfungsleistungen	Prüfungsart: Klausur oder mündliche Prüfung Sprache der Prüfung: Englisch Abweichungen werden zu Beginn der Veranstaltung bekannt gegeben.				
Dauer	1 Semester				
Häufigkeit des Angebots	jährlich				
Literatur	Steven Weinberg: Gravitation and Cosmology, New York: John Wiley and Sons, 1972. Steven Weinberg (2008), Cosmology, Oxford University Press Robert M. Wald: General Relativity, University of Chicago Press, 1984. C. W. Misner, K. S. Thorne, J. A. Wheeler: Gravitation, Palgrave Macmil-lan, 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				

	<p>Feldtheorie, Akademie Verlag Berlin 1984.</p> <p>Bernard F. Schutz: A First Course in General Relativity, Cambridge University Press, New York 1985 (2nd edition 2009).</p> <p>Bernard F. Schutz: Gravity from the Ground Up, Cambridge University Press, New York 2003.</p> <p>E. F. Taylor, J. A. Wheeler: Exploring Black Holes: Introduction to General Relativity, Addison-Wesley Longman, San Francisco 2000.</p> <p>J. B. Hartle: Gravity: An Introduction to Einstein's General Relativity, Addison-Wesley, San Francisco 2003.</p>
--	--

### Biomedizinische Physik:

Modultitel	Biomedical Physics I	
Modulnummer/-kürzel	PHY-MV-BP-E01	
Semester	Wintersemester	
Verwendbarkeit, Modultyp und Zuordnung zum Curriculum	<ul style="list-style-type: none"> <li>• M.Sc. Nanowissenschaften: Wahlpflichtmodul</li> <li>• M.Sc. Physik: Wahlpflichtmodul</li> </ul>	
Voraussetzungen für die Teilnahme	Verbindlich: keine Empfohlen: keine	
Modulverantwortliche(r)	Prof. Dr. Erika Garutti; Prof. Dr. Florian Grüner	
Lehrende	Prof. Dr. Erika Garutti; Prof. Dr. Florian Grüner	
Sprache	Englisch	
Qualifikationsziele	Nach erfolgreichem Absolvieren des Moduls sind die Studierenden mit modernen Methoden der medizinischen Bildgebung (PET, SPECT, MRI, CT, Multi-modal) und den grundlegenden Techniken der Strahlentherapie vertraut.	
Inhalt	<p>In diesem Kurs behandeln wir das komplexe Gebiet der verschiedenen Aspekte der medizinischen Therapie und Bildgebung, wobei letzteres im Vordergrund steht. Insbesondere diskutieren wir die physikalischen Grenzen heutiger medizinischer Bildgebungstechniken und behandeln die Frage, wie die Physik einen Mehrwert erbringen kann, indem wir die Grenzen weiter verschieben. Hauptaspekte sind die räumliche Auflösung und Empfindlichkeit bei der Bildgebung von Tumorgewebe und / oder medizinischen Diagnostiken.</p> <p>Im Journal Club werden diese Themen im Hinblick auf die modernsten Entwicklungen in den Bereichen analysiert. Die Studierenden lernen auch, wie sie eine wissenschaftliche Publikation aufbauen und diskutieren können.</p>	
Lehrveranstaltungen und Lehrformen	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Biomedical Physics I (V)</li> <li>• Journal Club (Ü)</li> </ul>	2 SWS 2 SWS

Arbeitsaufwand (Teilleistungen und insgesamt)	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Vorlesung</li> <li>• Übung/Journal Club</li> </ul>	LP	P (Std)	S (Std)	PV (Std)
		3	28	32	30
	Gesamtaufwand	2	28	32	-
		5	56	64	30
Studien- /Prüfungsleistungen	Prüfungsart: mündliche Prüfung Sprache der Prüfung: Englisch Abweichungen werden zu Beginn der Veranstaltung bekannt gegeben.				
Dauer	1 Semester				
Häufigkeit des Angebots	jährlich				
Literatur	J. L. Prince and J. M. Links: Medical imaging: signals and systems, Prentice Hall, 2006; C. Grupen and I. Buvat: Handbook of Particle Detection and Imaging; W. R. Leo: Techniques for Nuclear and Particle Physics Experiments, Springer.				

<b>Modultitel</b>	<b>Seminar on Biomedical Physics I</b>	
Modulnummer/-kürzel	PHY-MV-BP-E05	
Semester	Wintersemester	
Verwendbarkeit, Modultyp und Zuordnung zum Curriculum	<ul style="list-style-type: none"> <li>• M.Sc. Physik: Wahlpflichtmodul</li> </ul>	
Voraussetzungen für die Teilnahme	Verbindlich: keine Empfohlen: keine	
Modulverantwortliche(r)	Prof. Dr. Erika Garutti; Prof. Dr. Florian Grüner	
Lehrende	Prof. Dr. Erika Garutti; Prof. Dr. Florian Grüner	
Sprache	Englisch	
Qualifikationsziele	<p>Die Studierenden sind mit modernen Methoden der Bildgebung in der Medizin (PET, SPECT, MRI, CT, multimodal) und grundlegenden Techniken der Strahlentherapie vertraut.</p> <p>Das Seminar ergänzt das Modul "Biomedical Physics I" (PHY-MV-BP-E01). Es ist in zwei Teile geteilt:</p> <p>Der erste Teil ist eine Einführung in das Gebiet durch Experten des UKE und großen Unternehmen, die medizinische Bildgebungswerkzeuge entwickeln und produzieren.</p> <p>Der zweite Teil ist die Vorstellung von verwandten Themen durch die Kursteilnehmer.</p>	
Inhalt	In dieser Seminarreihe werden sechs Experten sechs relevante Themen in der biomedizinischen Physik vorstellen. Die Themen werden aus Sicht eines Arztes (konkrete Anwendung von Techniken in medizinischen Fällen) oder der industriellen Produzenten (Relevanz der Forschung aus Sicht der Industrialisierung) vorgestellt.	
Lehrveranstaltungen und Lehrformen	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Seminar on Biomedical Physics I (S)</li> </ul>	2 SWS

Arbeitsaufwand (Teilleistungen und insgesamt)	<ul style="list-style-type: none"> <li>Seminar</li> </ul>	LP 3	P (Std) 28	S (Std) 32	PV (Std) 30
	Gesamtaufwand	3	28	32	30
Studien- /Prüfungsleistungen	Prüfungsart: Referat, schriftliche Ausarbeitung Sprache der Prüfung: Englisch Abweichungen werden zu Beginn der Veranstaltung bekannt gegeben.				
Dauer	1 Semester				
Häufigkeit des Angebots	jährlich				
Literatur	Wird in der Veranstaltung bekannt gegeben.				

<b>Modultitel</b>	<b>Biomedical Physics II</b>
Modulnummer/-kürzel	PHY-MV-BP-E02
Semester	Sommersemester
Verwendbarkeit, Modultyp und Zuordnung zum Curriculum	<ul style="list-style-type: none"> <li>M.Sc. Nanowissenschaften: Wahlpflichtmodul</li> <li>M.Sc. Physik: Wahlpflichtmodul</li> </ul>
Voraussetzungen für die Teilnahme	Verbindlich: keine Empfohlen: keine
Modulverantwortliche(r)	Prof. Dr. Arwen Ruth Pearson
Lehrende	Prof. Dr. Arwen Ruth Pearson
Sprache	Englisch
Qualifikationsziele	Nach erfolgreichem Absolvieren des Moduls sind die Studierenden mit der Struktur von Makromolekülen, Zellen und Gewebe sowie mit Schlüsselfaktoren der zellulären und extrazellulären Biochemie im Zusammenhang mit Krankheiten, einschließlich Krebs, vertraut.
Inhalt	<p>In diesem Kurs werden wir die Grundlagen der makromolekularen, zellulären und Gewebestruktur und -architektur aus biophysikalischer Sicht behandeln. Wir werden die Grundlagen des Metabolismus und der Homöostase, insbesondere der Regulation des Zellzyklus, behandeln, um die Veränderungen auf molekularer Ebene zu verstehen, welche mit dem Ausbruch der Krankheit verbunden sind. Dieser Kurs zielt darauf ab, die in „Biomedical Physics I“ vorgestellten Bildgebungs- und Detektionswerkzeuge in einen physiologischen Kontext zu stellen. Wir werden auch das Potenzial für kombinierte bildgebende und therapeutische Ansätze diskutieren.</p> <p>Im Journal Club werden diese Themen im Hinblick auf die modernsten Entwicklungen in den Bereichen analysiert. Die Studierenden lernen auch, wie sie eine wissenschaftliche Publikation strukturieren und diskutieren können.</p> <p>Insbesondere werden folgende Themen im Kurs vorgestellt:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Makromolekulare Struktur und Funktion;</li> <li>- Die Architektur der Zelle;</li> <li>- biologische Homöostase;</li> </ul>

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

<b>Modultitel</b>	<b>Biomedical Physics III</b>
Modulnummer/-kürzel	PHY-MV-BP-E03
Semester	Wintersemester
Verwendbarkeit, Modultyp und Zuordnung zum Curriculum	<ul style="list-style-type: none"> <li>• M.Sc. Nanowissenschaften: Wahlpflichtmodul</li> <li>• M.Sc. Physik: Wahlpflichtmodul</li> </ul>
Voraussetzungen für die Teilnahme	Verbindlich: keine Empfohlen: keine
Modulverantwortliche(r)	Dr. Elisabetta Gargioni
Lehrende	Dr. Elisabetta Gargioni
Sprache	Englisch
Qualifikationsziele	Nach erfolgreichem Absolvieren des Moduls sind die Studierenden mit den Grundlagen des Strahlungstransports und dessen Anwendung in der Strahlentherapie und im Strahlenschutz vertraut. Außerdem wird dieses Modul einen Einblick in die Rolle der medizinischen Bildgebung in der Strahlentherapie ermöglichen.
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

	<p>Zielvolumen-Definition und der Bestrahlungsplanung werden außerdem diskutiert und analysiert.</p> <p>Die Teilnahmen an den Modulen "Biomedical Physics I" und "Biomedical Physics II" sind keine Voraussetzung für dieses Modul.</p> <p>Folgende Aspekte werden hier behandelt:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Kernmodelle und Radioaktivität</li> <li>• Wechselwirkungen von Photonen und geladenen Teilchen mit Materie</li> <li>• Grundlagen des Strahlungstransports und der Monte-Carlo-Techniken</li> <li>• Dosimetrie in der Strahlentherapie und im Strahlenschutz</li> <li>• Multimodale Bildgebung in der Strahlentherapie</li> <li>• Strahlungsquellen in der Therapie</li> <li>• Grundlagen der Bestrahlungsplanung</li> </ul>				
Lehrveranstaltungen und Lehrformen	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Biomedical Physics III (V)</li> </ul>				2 SWS
Arbeitsaufwand (Teilleistungen und insgesamt)		LP	P (Std)	S (Std)	PV (Std)
	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Vorlesung</li> </ul>	3	28	32	30
	Gesamtaufwand	3	28	32	30
Studien-/Prüfungsleistungen	<p>Prüfungsart: mündliche Prüfung          Sprache der Prüfung: Englisch          Abweichungen werden zu Beginn der Veranstaltung bekannt gegeben.</p>				
Dauer	1 Semester				
Häufigkeit des Angebots	jährlich				
Literatur	<p>P. Mayles, A. Nahum, J. C. Rosenwald (Eds.), Handbook of Radiotherapy Physics – Theory and Practice, Taylor &amp; Francis (2007);          M. Goitein, Radiation Oncology: A Physicist's-Eye View, Springer (2008).</p>				

<b>Modultitel</b>	<b>Biomedical Physics IV</b>
Modulnummer/-kürzel	PHY-MV-BP-E04
Semester	Sommersemester
Verwendbarkeit, Modultyp und Zuordnung zum Curriculum	<ul style="list-style-type: none"> <li>• M.Sc. Nanowissenschaften: Wahlpflichtmodul</li> <li>• M.Sc. Physik: Wahlpflichtmodul</li> </ul>
Voraussetzungen für die Teilnahme	<p>Verbindlich: keine          Empfohlen: keine</p>
Modulverantwortliche(r)	Dr. Elisabetta Gargioni
Lehrende	Dr. Elisabetta Gargioni
Sprache	Englisch

Qualifikationsziele	Nach erfolgreichem Absolvieren des Moduls sind die Studierenden mit den Grundlagen der Physik der Strahlentherapie vertraut. Außerdem gibt das Modul einen Überblick in die physikalische und biologische Optimierung eines Bestrahlungsplanes und in die Anwendung verschiedener Bestrahlungstechniken und Behandlungskonzepte für einige Tumorentitäten.				
Inhalt	<p>In diesem Modul werden Sie einen Einblick in die grundlegenden Aspekte der Physik in der Strahlentherapie und der mathematischen Modellierung in der Strahlenbiologie gewinnen, mit einem Schwerpunkt in den Bestrahlungstechniken und Therapiekonzepten. Aufbauend auf die Inhalte des Moduls „Biomedical Physics III“, werden wir den aktuellen Stand von Bestrahlungsplanung, Bestrahlungstechniken und Anwendung von multimodaler Bildgebung in der Strahlentherapie, insbesondere von beweglichen Tumoren diskutieren und analysieren.</p> <p>Während einer praktischen Abendsitzung in der Klinik für Strahlentherapie und Radioonkologie werden die Studierende die Möglichkeit haben, die grundlegenden Messdaten für die dosimetrische Charakterisierung eines medizinischen Linearbeschleunigers aufzunehmen und die Ergebnisse zu analysieren.</p> <p>Folgende Aspekte werden hier behandelt:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Bestrahlungstechniken und neue Bestrahlungsmethoden in moderner Strahlentherapie</li> <li>• Optimierungstechniken für die Bestrahlungsplanung</li> <li>• Dosimetrie und Qualitätssicherung in der Strahlentherapie</li> <li>• Behandlung beweglicher Tumore</li> </ul>				
Lehrveranstaltungen und Lehrformen	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Biomedical Physics IV (V)</li> </ul>				2 SWS
Arbeitsaufwand (Teilleistungen und insgesamt)		LP	P (Std)	S (Std)	PV (Std)
	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Vorlesung</li> </ul>	3	28	32	30
	Gesamtaufwand	3	28	32	30
Studien-/Prüfungsleistungen	Prüfungsart: mündliche Prüfung Sprache der Prüfung: Englisch Abweichungen werden zu Beginn der Veranstaltung bekannt gegeben.				
Dauer	1 Semester				
Häufigkeit des Angebots	jährlich				
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).				

### Festkörper- und Nanostrukturphysik:

<b>Modultitel</b>	<b>Festkörperphysik für Fortgeschrittene</b>
Modulnummer/-kürzel	PHY-MV-FN-E01

Semester	Sommersemester				
Verwendbarkeit, Modultyp und Zuordnung zum Curriculum	<ul style="list-style-type: none"> <li>• M.Sc. Nanowissenschaften: Pflichtmodul</li> <li>• M.Sc. Physik: Wahlpflichtmodul</li> </ul>				
Voraussetzungen für die Teilnahme	Verbindlich: keine Empfohlen: Physik IV (= Festkörperphysik) oder Nanostrukturphysik A und B				
Modulverantwortliche(r)	Prof. Dr. Robert H. Blick; Prof. Dr. Michael Rübhausen				
Lehrende	Prof. Dr. Robert H. Blick; Prof. Dr. Michael Rübhausen; Prof. Dr. Wolfgang Hansen				
Sprache	Deutsch oder Englisch, Lehrmaterial in der Regel englisch				
Qualifikationsziele	Die Studierenden haben vertiefte Kenntnisse über den wissenschaftlichen Stand der Forschung in der Festkörper- und Nanostrukturphysik. Es ist vertieftes Fachwissen vorhanden, um eine experimentelle Master-Arbeit im Gebiet der Festkörper- und Nanostrukturphysik erfolgreich durchführen zu können.				
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.				
Lehrveranstaltungen und Lehrformen	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Festkörperphysik für Fortgeschrittene (V)</li> <li>• Übungen zu Festkörperphysik für Fortgeschrittene (Ü)</li> </ul>			4 SWS	2 SWS
Arbeitsaufwand (Teilleistungen und insgesamt)	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Vorlesung</li> <li>• Übung</li> </ul>	LP 6 2	P (Std) 56 28	S (Std) 62 32	PV (Std) 62 -



	Gesamtaufwand	8	84	94	62
Studien- /Prüfungsleistungen	Prüfungsart: Klausur oder mündliche Prüfung Sprache der Prüfung: Deutsch oder Englisch Abweichungen werden zu Beginn der Veranstaltung bekannt gegeben.				
Dauer	1 Semester				
Häufigkeit des Angebots	jährlich				
Literatur	wird in der Vorlesung bekannt gegeben				

<b>Modultitel</b>	<b>Nanostrukturphysik I: Physik und Technologie von Halbleitern und Nanostrukturen</b>				
Modulnummer/-kürzel	PHY-MV-FN-E02				
Semester	Wintersemester				
Verwendbarkeit, Modultyp und Zuordnung zum Curriculum	<ul style="list-style-type: none"> <li>• M.Sc. Nanowissenschaften: Wahlpflichtmodul</li> <li>• M.Sc. Physik: Wahlpflichtmodul</li> </ul>				
Voraussetzungen für die Teilnahme	Verbindlich: keine Empfohlen: Nanostrukturphysik A oder Physik IV (= Festkörperphysik)				
Modulverantwortliche(r)	Prof. Dr. Wolfgang Hansen				
Lehrende	Prof. Dr. Wolfgang Hansen; Dr. Christian Heyn				
Sprache	Deutsch oder Englisch				
Qualifikationsziele	Nach erfolgreichem Absolvieren des Moduls können die Studierenden die wesentlichen Forschungsergebnisse zur Synthese von und Forschung an Halbleiter-Nanostrukturen und Bauelementen zusammenfassen.				
Inhalt	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Halbleiter: Grundlagen und Ladungsträgertransport</li> <li>▪ Grenzflächen in Halbleitern, klassische Halbleiterbauelemente</li> <li>▪ Molekularstrahlepitaxie, Selbstorganisation, HL-Quantenpunkte</li> <li>▪ Transport in niedrigdimensionalen Elektronensystemen</li> <li>▪ Nanoplasmonics</li> <li>▪ Metamaterialien</li> <li>▪ Halbleiter Nanopartikel und Quantisierungseffekte</li> <li>▪ Halbleiter Nanostäbe und Bauelemente</li> <li>▪ Thermoelektrische Nanostrukturen</li> <li>▪ Graphen, Kohlenstoff-Nanoröhren und Organische Halbleiter</li> </ul>				
Lehrveranstaltungen und Lehrformen	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Nanostrukturphysik I (V)</li> <li>• Übungen zur Nanostrukturphysik I (Ü)</li> </ul>			4 SWS	2 SWS
Arbeitsaufwand	LP	P (Std)	S (Std)	PV (Std)	

(Teilleistungen und insgesamt)	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Vorlesung</li> <li>• Übung</li> </ul>	6	56	62	62
		2	28	32	-
	Gesamtaufwand	8	84	94	62
Studien-/Prüfungsleistungen	Prüfungsart: Klausur oder mündliche Prüfung Sprache der Prüfung: Deutsch oder Englisch Abweichungen werden zu Beginn der Veranstaltung bekannt gegeben.				
Dauer	1 Semester				
Häufigkeit des Angebots	jährlich				
Literatur	Wird in der Veranstaltung bekannt gegeben.				

<b>Modultitel</b>	<b>Nanostrukturphysik II: Oberflächenphysik und Magnetismus</b>				
Modulnummer/-kürzel	PHY-MV-FN-E04				
Semester	Sommersemester				
Verwendbarkeit, Modultyp und Zuordnung zum Curriculum	<ul style="list-style-type: none"> <li>• M.Sc. Nanowissenschaften: Wahlpflichtmodul</li> <li>• M.Sc. Physik: Wahlpflichtmodul</li> </ul>				
Voraussetzungen für die Teilnahme	Verbindlich: keine Empfohlen: Festkörperphysik und Quantenmechanik (Physik III)				
Modulverantwortliche(r)	Prof. Dr. Roland Wiesendanger				
Lehrende	Prof. Dr. Roland Wiesendanger; PD Dr. Elena Vedmedenko				
Sprache	Deutsch oder Englisch				
Qualifikationsziele	Nach erfolgreichem Absolvieren des Moduls kennen die Studierenden die wesentlichen aktuellen wissenschaftlichen Entwicklungen auf den Gebieten Nanomagnetismus und Oberflächenphysik. Die Studierenden erlernen die wesentlichen experimentellen Techniken auf dem Gebiet des Nanomagnetismus und der Oberflächenphysik. Sie können ferner spezialisierte Techniken theoretischer Beschreibung magnetischer Phänomene einsetzen.				
Inhalt	<p>Ziele des Moduls: Verständnis der unterschiedlichen Arten des Magnetismus isolierter Atome, atomarer Ensembles auf Oberflächen, Nanostrukturen auf Oberflächen sowie Oberflächen von Kristallen.</p> <p>Das Lehrmaterial beinhaltet:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- den Überblick der verschiedenen Kopplungsmechanismen zwischen magnetischen Momenten;</li> <li>- den Überblick der magnetischen Ordnung und Phasenübergänge;</li> <li>- die magnetischen Eigenschaften freier Elektronen im magnetischen Festkörpern;</li> <li>- den Überblick über experimentelle Methoden zum Nachweis magnetischer Phänomene.</li> </ul>				
Lehrveranstaltungen und	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Nanostrukturphysik II (V)</li> <li>• Übungen zur Nanostrukturphysik II (Ü)</li> </ul>			4 SWS	2 SWS

Lehrformen					
Arbeitsaufwand (Teilleistungen insgesamt) und		LP	P (Std)	S (Std)	PV (Std)
	• Vorlesung	6	56	62	62
	• Übung	2	28	32	-
	Gesamtaufwand	8	84	94	62
Studien- /Prüfungsleistungen	Prüfungsart: Klausur oder mündliche Prüfung Sprache der Prüfung: Deutsch oder Englisch Abweichungen werden zu Beginn der Veranstaltung bekannt gegeben.				
Dauer	1 Semester				
Häufigkeit des Angebots	jährlich				
Literatur	<u>Bücher:</u> S. Blundell, Magnetism in Condensed Matter, Oxford (2001) J. M. D. Coey, Magnetism and Magnetic Materials, Cambridge (2010). R. C. O’Handley, Modern magnetic materials - principles and applications, Wiley, New York (2000) S. Chikazumi, Physics of Ferromagnetism, Oxford (1997) R. Skomski, Simple Models of Magnetism, Oxford (2008) K. Yosida, Theory of Magnetism (1998). <u>Reviews:</u> R. Wiesendanger (Spin-polarized STM), Rev. Mod. Phys. 81, 1495 (2009) C. H. Marrows (Spin-polarized currents and magnetic domain walls), Advances in Physics 54, 585 (2005). S. D. Bader (Nanomagnetism), Rev. Mod. Phys. 78, 1 (2006).				

<b>Modultitel</b>	<b>Nanostrukturphysik IV - Energiematerialien und Nanobiotechnologie</b>
Modulnummer/-kürzel:	PHY-MV-FN-E11
Semester	Sommersemester
Verwendbarkeit, Modultyp und Zuordnung zum Curriculum	<ul style="list-style-type: none"> <li>• M.Sc. Nanowissenschaften: Pflichtmodul</li> <li>• M.Sc. Physik: Wahlpflichtmodul</li> </ul>
Voraussetzungen für die Teilnahme	Verbindlich: keine Empfohlen: keine
Modulverantwortliche(r):	Prof. Dr. Robert H. Blick; Prof. Dr. Arwen Ruth Pearson
Lehrende	Prof. Dr. Robert H. Blick; Prof. Dr. Arwen Ruth Pearson
Sprache	Deutsch oder Englisch

Qualifikationsziele	Nach erfolgreichem Absolvieren des Moduls können Studierende die wesentlichen Forschungsergebnisse zur Energiespeicherung und Energieerzeugung mittels Nanomaterialien oder der Anwendung von Nanostrukturen und Nanomaterialien in den Bereich Medizin und Biotechnologie zusammenfassen.				
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.				
Lehrveranstaltungen und Lehrformen	<ul style="list-style-type: none"> <li>Nanostrukturphysik IV (V)</li> <li>Übungen zur Nanostrukturphysik IV (Ü)</li> </ul>			2 SWS	1 SWS
Arbeitsaufwand (Teilleistungen und insgesamt)		LP	P (Std)	S (Std)	PV (Std)
	<ul style="list-style-type: none"> <li>Vorlesung</li> <li>Übung</li> </ul>	3	28	32	30
	Gesamtaufwand	4	42	48	30
Studien-/Prüfungsleistungen	Prüfungsart: Klausur oder mündliche Prüfung Sprache der Prüfung: Deutsch oder Englisch Abweichungen werden zu Beginn der Veranstaltung bekannt gegeben.				
Dauer	1 Semester				
Häufigkeit des Angebots	jährlich				
Literatur:	Wird in der Veranstaltung bekannt gegeben.				

<b>Modultitel</b>	<b>Moderne Methoden zur Charakterisierung von Oberflächen und Nanostrukturen</b>				
Modulnummer/-kürzel	PHY-MV-FN-E12				
Semester	Sommersemester				
Verwendbarkeit, Modultyp und Zuordnung zum Curriculum	<ul style="list-style-type: none"> <li>M.Sc. Nanowissenschaften: Wahlpflichtmodul</li> <li>M.Sc. Physik: Wahlpflichtmodul</li> </ul>				
Voraussetzungen für die Teilnahme	Verbindlich: keine Empfohlen: Festkörperphysik; Nanostrukturphysik				
Modulverantwortliche(r)	Prof. Dr. Andreas Stierle				
Lehrende	Prof. Dr. Andreas Stierle				
Sprache	Deutsch oder Englisch				
Qualifikationsziele	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Verständnis von verschiedenen Methoden zur strukturellen und chemischen Charakterisierung von Nanostrukturen und Oberflächen</li> <li>- Entwicklung von Entscheidungskompetenz für die Methodenwahl zur chemischen und strukturellen Charakterisierung von Nanostrukturen und Oberflächen</li> </ul>				

	<p>Nach erfolgreichem Absolvieren des Moduls haben Studierende gelernt, wie mit Röntgen und Elektronenbeugungsmethoden die atomare Struktur von Oberflächen und Nanostrukturen charakterisiert werden kann. Dabei werden unterschiedliche Verfahren diskutiert, um die Morphologie, atomare Struktur oder Nahordnung zu beschreiben. Weiterhin lernen die Studierenden elektronenspektroskopische Methoden kennen, die zur Charakterisierung der chemischen und elektronischen Eigenschaften eingesetzt werden. Abschließend wird ein Überblick über ortsauflösenden Rastersondentechniken gegeben.</p>				
Inhalt	<p>I. Röntgenbeugung an Systemen mit reduzierten Dimensionen</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Röntgen-Reflexion</li> <li>• Röntgenbeugung unter streifendem Einfall, Kleinwinkelstreuung</li> <li>• Oberflächenröntgenbeugung</li> <li>• Beugung an dünnen Filmen, Vielfachschichten und Nanopartikeln</li> </ul> <p>II. Elektronenbeugung an niederdimensionalen Systemen</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Beugung niederenergetischer Elektronen</li> <li>• Beugung hochenergetischer Elektronen</li> <li>• Elektronen als lokale Sonde: EXAFS</li> </ul> <p>III. Oberflächensensitive Spektroskopie</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Photoemissionsspektroskopie</li> <li>• Auger Elektronenspektroskopie</li> </ul> <p>IV. Rastersondentechniken</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Rastertunnelmikroskopie</li> <li>• Rasterkraftmikroskopie</li> <li>• Rasterelektronenmikroskopie</li> </ul>				
Lehrveranstaltungen und Lehrformen	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Moderne Methoden zur Charakterisierung von Oberflächen und Nanostrukturen (V)</li> <li>• Übungen zu Moderne Methoden zur Charakterisierung von Oberflächen und Nanostrukturen (Ü)</li> </ul>			2 SWS	2 SWS
Arbeitsaufwand (Teilleistungen und insgesamt)	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Vorlesung</li> <li>• Übung</li> </ul>	LP	P (Std)	S (Std)	PV (Std)
		3	28	32	30
		2	28	32	-
	Gesamtaufwand	5	56	64	30
Studien-/Prüfungsleistungen	<p>Prüfungsart: Klausur oder mündliche Prüfung          Sprache der Prüfung: Deutsch oder Englisch          Abweichungen werden zu Beginn der Veranstaltung bekannt gegeben.</p>				
Dauer	1 Semester				
Häufigkeit des Angebots	jährlich				
Literatur	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. J. Als-Nielsen, D. Mc Morrow, Elements of modern x-ray physics, Wiley</li> <li>2. H. Dosch, critical phenomena at surfaces and interfaces, Springer</li> <li>3. G. Ertl, J. Küppers, Low energy electron diffraction and surface chemistry, Springer</li> <li>4. K. Wandelt, surface and interface science, Wiley</li> </ol>				

	5. R. Waser, nanoelectronics and information technology, Wiley 6. E. Mittemeijer, U, Welzel, modern diffraction methods, Wiley
--	---

<b>Modultitel</b>	<b>Seminar über Nahfeldgrenzflächenphysik und Nanotechnologie</b>				
Modulnummer/-kürzel	PHY-MV-FN-E16				
Semester	Sommer- und Wintersemester				
Verwendbarkeit, Modultyp und Zuordnung zum Curriculum	<ul style="list-style-type: none"> <li>• M.Sc. Nanowissenschaften: Wahlpflichtmodul</li> <li>• M.Sc. Physik: Wahlpflichtmodul</li> </ul>				
Voraussetzungen für die Teilnahme	Verbindlich: keine Empfohlen: Physik IV (= Festkörperphysik) oder Nanostrukturphysik A und B				
Modulverantwortliche(r)	Prof. Dr. Roland Wiesendanger				
Lehrende	Prof. Dr. Roland Wiesendanger				
Sprache	Deutsch oder Englisch				
Qualifikationsziele	Vertiefte Kenntnisse über und Einblicke in aktuelle Entwicklungen der Forschung in der Festkörper- und Nanostrukturphysik. Es werden aktuelle Fragen der modernen Festkörper- und Nanostrukturphysik sowie experimentelle Methoden zu deren Beantwortung vorgestellt. Ziel ist die Schaffung eines vertieften Fachwissens, um eine Master-Arbeit im Gebiet der experimentellen Festkörper- und Nanostrukturphysik erfolgreich durchführen zu können.				
Inhalt	Vertiefung aktueller Themen der Festkörper- und Nanostrukturphysik Experimentelle Methoden der Festkörper- und Nanostrukturphysik				
Lehrveranstaltungen und Lehrformen	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Seminar über Nahfeldgrenzflächenphysik und Nanotechnologie (S)</li> </ul>				2 SWS
Arbeitsaufwand (Teilleistungen und insgesamt)		LP	P (Std)	S (Std)	PV (Std)
	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Seminar</li> </ul>	3	28	32	30
	Gesamtaufwand	3	28	32	30
Studien-/Prüfungsleistungen	Prüfungsart: Referat Sprache der Prüfung: Deutsch oder Englisch Abweichungen werden zu Beginn der Veranstaltung bekannt gegeben.				
Dauer	1 Semester				
Häufigkeit des Angebots	jedes Semester				
Literatur	Wird in der Veranstaltung bekannt gegeben.				

<b>Modultitel</b>	<b>Bio- und Nanogrenzflächen</b>
Modulnummer/-kürzel	PHY-MV-FN-E18
Semester	Wintersemester
Verwendbarkeit, Modultyp und Zuordnung zum Curriculum	<ul style="list-style-type: none"> <li>• M.Sc. Nanowissenschaften: Wahlpflichtmodul</li> <li>• M.Sc. Physik: Wahlpflichtmodul</li> </ul>
Voraussetzungen für die Teilnahme	Verbindlich: keine Empfohlen: Grundlagen der physikalischen Chemie
Modulverantwortliche(r)	Prof. Dr. Robert H. Blick
Lehrende	Prof. Dr. Robert H. Blick; PD Dr. Thomas F. Keller
Sprache	Deutsch oder Englisch
Qualifikationsziele	<p>- Überblick über wichtige biophysikalische Prozesse an Grenzflächen - Entwicklung von grundlegendem und fachübergreifendem Verständnis für weiterführende Vorlesungen und Abschlussarbeiten in diesem interdisziplinären Gebiet.</p> <p>Nach erfolgreichem Absolvieren des Moduls haben die Studierenden gelernt, wie Zellen elektrische Signale weiterleiten, Ionenkanäle und Nanoporen funktionieren und welchen Einfluss eine Grenzfläche auf die Konformation eines Proteins hat. Sie haben Anwendungen im Bereich der Mikrofluidik, Sensorik und Biomedizin sowie Methoden zur Untersuchung biophysikalischer Prozesse kennengelernt, mit deren Hilfe aktuelle wissenschaftliche Fragen beantwortet werden.</p>
Inhalt	<p>I Einführung</p> <p>II Grundlagen</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Kraft und Energie</li> <li>• Thermodynamische Potentiale</li> <li>• Diffusion</li> <li>• Debye-Hückel Abschirmung, Zeta-Potential</li> </ul> <p>III Bio- und Nanogrenzflächen</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Physikalische Beschreibung organischer und anorganischer Grenzflächen</li> <li>• Biophysikalische Grenzflächen</li> <li>• Oberflächenspannung und Osmose</li> <li>• Zellmembranen</li> <li>• Elektrische Eigenschaften von Zellmembranen und Ionentransfer</li> <li>• Aufbau und Raumstruktur von Proteinen</li> <li>• Protein-Protein- / Protein-Oberflächen-Wechselwirkungen</li> <li>• AFM-Kraftspektroskopie: Kraftinduzierte Sekundärstrukturänderungen</li> <li>• Enzymkatalyse durch Tunneleffekt</li> </ul> <p>VI Anwendungen</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Mikrofluidik</li> <li>• Implantatoberflächen in der Forschung</li> </ul>

	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Bioelektronische Devices</li> <li>• Biosensoren und in-vitro/in-vivo Diagnostik</li> </ul>				
Lehrveranstaltungen und Lehrformen	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Bio- und Nanogrenzflächen (V)</li> </ul>				4 SWS
Arbeitsaufwand (Teilleistungen und insgesamt)		LP	P (Std)	S (Std)	PV (Std)
	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Vorlesung</li> </ul>	6	56	64	60
	Gesamtaufwand	6	56	64	60
Studien-/Prüfungsleistungen	Prüfungsart: Klausur oder mündliche Prüfung Sprache der Prüfung: Deutsch oder Englisch Abweichungen werden zu Beginn der Veranstaltung bekannt gegeben.				
Dauer	1 Semester				
Häufigkeit des Angebots	jährlich				
Literatur	„Biophysics: A Physiological Approach“, Patrick F. Dillon, Cambridge University Press, 2012. „Bioelectronics Handbook: MOSFETs, Biosensors, and Neurons“, Massobrio, Giuseppe, McGraw-Hill Companies, 1998. MIT Open course ware <a href="http://ocw.mit.edu/courses/materials-science-and-engineering/">http://ocw.mit.edu/courses/materials-science-and-engineering/</a> (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.				

<b>Modultitel</b>	<b>Röntgenanalytik und -mikroskopie in den Nanowissenschaften</b>
Modulnummer/-kürzel	PHY-MV-FN-E23
Semester	Sommersemester
Verwendbarkeit, Modultyp und Zuordnung zum Curriculum	<ul style="list-style-type: none"> <li>• M.Sc. Nanowissenschaften: Wahlpflichtmodul</li> <li>• M.Sc. Physik: Wahlpflichtmodul</li> </ul>
Voraussetzungen für die Teilnahme	Verbindlich: keine Empfohlen: keine
Modulverantwortliche(r)	Prof. Dr. Christian Schroer
Lehrende	Prof. Dr. Christian Schroer
Sprache	Deutsch oder Englisch
Qualifikationsziele	Nach erfolgreichem Absolvieren des Moduls können die Studierenden die wesentlichen aktuellen röntgenanalytischen und röntgenmikroskopischen Methoden für die Untersuchung von funktionalen Nanomaterialien zusammenfassen.
Inhalt	Es werden folgende Themen behandelt:



	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Wechselwirkung von Röntgenstrahlung mit Materie</li> <li>• Wellenoptik von Röntgenstrahlung und Röntgenoptiken</li> <li>• Tomographie</li> <li>• Rastermikroskopie und Analytik Röntgenfluoreszenz, Absorption, Beugung</li> <li>• Abbildende Röntgenmikroskopie</li> <li>• Abbildung mit kohärenter Röntgenstrahlung</li> </ul>				
Lehrveranstaltungen und Lehrformen	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Röntgenanalytik und -mikroskopie in den Nanowissenschaften (V)</li> <li>• Übungen zur Röntgenanalytik und -mikroskopie in den Nanowissenschaften (Ü)</li> </ul>				2 SWS
					1 SWS
Arbeitsaufwand (Teilleistungen insgesamt) und		LP	P (Std)	S (Std)	PV (Std)
	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Vorlesung</li> <li>• Übung</li> </ul>	3	28	32	30
		1	14	16	-
Gesamtaufwand		4	42	48	30
Studien-/Prüfungsleistungen	Prüfungsart: Hausarbeit Sprache der Prüfung: Deutsch oder Englisch Abweichungen werden zu Beginn der Veranstaltung bekannt gegeben.				
Dauer	1 Semester				
Häufigkeit des Angebots	jährlich				
Literatur	Wird in der Lehrveranstaltung bekannt gegeben.				

<b>Modultitel</b>	<b>Die Kunst der Computer-basierten Modellierung und Simulation experimenteller Daten</b>
Modulnummer/-kürzel	PHY-MV-FN-E31
Semester	Wintersemester
Verwendbarkeit, Modultyp und Zuordnung zum Curriculum	<ul style="list-style-type: none"> <li>• M.Sc. Nanowissenschaften: Wahlpflichtmodul</li> <li>• M.Sc. Physik: Wahlpflichtmodul</li> </ul>
Voraussetzungen für die Teilnahme	Verbindlich: keine Empfohlen: keine
Modulverantwortliche(r)	Prof. Dr. Michael Rübhausen
Lehrende	Prof. Dr. Michael Rübhausen; Dr. Benjamin Grimm-Lebsanft
Sprache	Deutsch oder Englisch
Qualifikationsziele	Ein Verständnis der mathematischen Beschreibung experimenteller Daten unter expliziter Berücksichtigung der numerischen und experimentellen Fehler.  Hierbei wird zunächst in die Grundlagen der Statistik, Numerik und der Programmierung eingeführt. Danach werden die Grundlagen der

	Modellierung eines experimentellen Datensatzes behandelt. Im Rahmen von Übungen und eines Computergestützten Projektes werden die Grundlagen vertieft. Projektorientiertes Arbeiten ergänzt Übungen und Vorlesungen.				
Inhalt	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Statistik – Revision der Grundlagen</li> <li>• Numerik: Integrieren, Differenzieren, FFT, Lösen eines linearen Gleichungssystems</li> <li>• DGL's: Runge Kutta</li> <li>• Fit-Algorithmen unter Berücksichtigung experimenteller Fehler: Lineare Funktion; Gauß-Newton Verfahren; Levenberg Marquardt; Monte-Carlo</li> <li>• Stabilität eines Fits unter Berücksichtigung der experimentellen Fehler</li> <li>• Globales versus lokales Fit-Minimum</li> </ul>				
Lehrveranstaltungen und Lehrformen	• Die Kunst der Computer-basierten Modellierung und Simulation experimenteller Daten (V)				2 SWS
	• Übungen zur Kunst der Computer-basierten Modellierung und Simulation experimenteller Daten (Ü)				2 SWS
	• Computerübungen zur Kunst der Computer-basierten Modellierung und Simulation experimenteller Daten (CÜ)				2 SWS
	• Projekt zur Kunst der Computer-basierten Modellierung und Simulation experimenteller Daten (Pj)				1 SWS
Arbeitsaufwand (Teilleistungen und insgesamt)		LP	P (Std)	S (Std)	PV (Std)
	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Vorlesung</li> <li>• Übung</li> <li>• Computerübung</li> <li>• Projekt</li> </ul>	3	28	32	30
Gesamtaufwand		9	98	87	85
Studien-/Prüfungsleistungen	Prüfungsart: Projektabschlussbericht Sprache der Prüfung: Deutsch oder Englisch Abweichungen werden zu Beginn der Veranstaltung bekannt gegeben.				
Dauer	1 Semester				
Häufigkeit des Angebots	jährlich				
Literatur	Numerical Recipes – The Art of Scientific Computing (3rd Edition)				

<b>Modultitel</b>	<b>Quantentransport und experimentelle Quantenphysik</b>
Modulnummer/-kürzel	PHY-MV-FN-E32
Semester	Wintersemester
Verwendbarkeit, Modultyp und Zuordnung zum Curriculum	<ul style="list-style-type: none"> <li>• M.Sc. Nanowissenschaften: Wahlpflichtmodul</li> <li>• M.Sc. Physik: Wahlpflichtmodul</li> </ul>

Voraussetzungen für die Teilnahme	Verbindlich: keine Empfohlen: Grundlagen der Elektrodynamik und Quantenmechanik				
Modulverantwortliche(r)	Prof. Dr. Robert H. Blick				
Lehrende	Prof. Dr. Robert H. Blick; Dr. Lars Tiemann				
Sprache	Deutsch oder Englisch				
Qualifikationsziele	<p>- Vertiefung wichtiger Prinzipien der Halbleiter- und Festkörperphysik und Einführung von neuen, exotischen Materiezuständen;  - Verständnis wichtiger Quanteneffekte in Festkörpern und deren experimenteller Untersuchungsmethoden.</p> <p>Nach erfolgreichem Absolvieren des Moduls haben die Studierenden gelernt, wie modere 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 haben Anwendungen der modernen Messtechniken von Halbleitern bei Temperaturen <math>\leq 4.2</math> Kelvin kennengelernt und besitzen die nötigen Grundlagen, um auf dem Gebiet des Quantentransports experimentell arbeiten zu können.</p>				
Inhalt	<p>I Einführung</p> <p>II Grundlagen der Festkörper- und Halbleiterphysik (ca. 15% der VL)</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Bandstrukturen</li> <li>• Eigenschaften der Ladungsträger</li> </ul> <p>III Grundlagen der Halbleitertechnologie (ca. 15%)</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Wachstum von Halbleitern</li> <li>• Prozessierung, Strukturierung und Reinraumtechnologien</li> <li>• Charakterisierungsmethoden</li> </ul> <p>IV Quanteneffekte und Quantentransport (ca. 60%)</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Transport von Ladungsträgern</li> <li>• Wechselwirkungen und Defekte</li> <li>• Quantisierung durch Einschlusspotentiale und Magnetfelder</li> <li>• Quanten-Hall-Effekte und Graphen</li> <li>• Topologische Systeme</li> <li>• Quanteneffekte in Nanostrukturen</li> </ul> <p>V Messmethoden und Technologien (ca. 10%)</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Grundlagen der Tieftemperaturphysik (4.2 Kelvin bis Millikelvin-Bereich)</li> <li>• Grundlagen der Messdatenaufnahme für Transport bei tiefen Temperaturen</li> </ul> <p>(Messmethoden und Datenaufnahme/Programmierung)</p>				
Lehrveranstaltungen und Lehrformen	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Quantentransport und experimentelle Quantenphysik (V)</li> <li>• Seminar zu Quantentransport und experimentelle Quantenphysik (S)</li> </ul>			2 SWS	1 SWS
Arbeitsaufwand (Teilleistungen und	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Vorlesung</li> </ul>	LP 3	P (Std) 28	S (Std) 32	PV (Std) 30

insgesamt)	• Seminar	1	14	8	8
	Gesamtaufwand	4	42	40	38
Studien- /Prüfungsleistungen	Prüfungsart: Referat und mündliche Prüfung Sprache der Prüfung: Deutsch oder Englisch Abweichungen werden zu Beginn der Veranstaltung bekannt gegeben.				
Dauer	1 Semester				
Häufigkeit des Angebots	jährlich				
Literatur	<p>„Semiconductor Nanostructures: Quantum states and electronic transport“, Thomas Ihn, Oxford Univ. Press, 2011</p> <p>"The physics of low-dimensional semiconductors: an introduction", John H. Davies, Cambridge Univ. Press, 2009</p> <p>„Semiconductor spintronics“, Thomas Schäpers, De Gruyter, 2016</p> <p>"Introduction to the Physics of Electrons in Solids", Henri Alloul, Springer-Verlag, 2011</p>				

<b>Modultitel</b>	<b>Methods in Nanobiotechnology</b>		
Modulnummer/-kürzel	PHY-MV-FN-E34		
Semester	Wintersemester		
Verwendbarkeit, Modultyp und Zuordnung zum Curriculum	<ul style="list-style-type: none"> <li>• M.Sc. Nanowissenschaften: Wahlpflichtmodul</li> <li>• M.Sc. Physik: Wahlpflichtmodul</li> </ul>		
Voraussetzungen für die Teilnahme	Verbindlich: keine Empfohlen: keine		
Modulverantwortliche(r)	Prof. Dr. Wolfgang Parak		
Lehrende	Prof. Wolfgang Parak; Dr. Neus Feliu; Dr. Indranath Chakraborty		
Sprache	Englisch		
Qualifikationsziele	In diesem Fortgeschrittenen-Kurs wird eine Einführung über moderne Methoden und Aspekte der Nanobiotechnologie gegeben. Die Studierenden sind für wissenschaftliche Arbeiten in dieser Thematik vorbereitet.		
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, Bioconugation, photophysikalische Grundlagen, u.s.w. behandelt.		
Lehrveranstaltungen und Lehrformen	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Methods in Nanobiotechnology (V)</li> <li>• Methods in Nanobiotechnology (Ü)</li> <li>• Methods in Nanobiotechnology (P)</li> </ul>	2 SWS	2 SWS

Arbeitsaufwand (Teilleistungen und insgesamt)	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Vorlesung</li> <li>• Übung</li> <li>• Praktikum</li> </ul>	LP	P (Std)	S (Std)	PV (Std)
		3	28	32	30
		2	28	32	-
		2	28	32	-
	Gesamtaufwand	7	84	96	30
Studien- /Prüfungsleistungen	Prüfungsart: Referat und schriftliche oder mündliche Prüfung Sprache der Prüfung: Englisch Abweichungen werden zu Beginn der Veranstaltung bekannt gegeben.				
Dauer	1 Semester				
Häufigkeit des Angebots	jährlich				
Literatur	own script will be distributed				

<b>Modultitel</b>	<b>Wahlpflichtpraktikum Physik</b>				
Modulnummer/-kürzel	PHY-MV-FN-E37				
Semester	Wintersemester und Sommersemester				
Verwendbarkeit, Modultyp und Zuordnung zum Curriculum	<ul style="list-style-type: none"> <li>• M.Sc. Nanowissenschaften: Wahlpflichtmodul</li> <li>• M.Sc. Physik: Wahlpflichtmodul</li> </ul>				
Voraussetzungen für die Teilnahme	Verbindlich: keine Empfohlen: keine				
Modulverantwortliche(r)	N.N.				
Lehrende	Mitglieder des Lehrkörpers aus dem Fachbereich Physik				
Sprache	Deutsch oder Englisch				
Qualifikationsziele	Besitz der Kenntnis und Anwendung moderner und anspruchsvoller Methoden oder Kenntnisse moderner Techniken und Verfahren. Das Modul verbindet die Vermittlung von Schlüsselqualifikationen (insbesondere Methodenkompetenz, Arbeitsplanung, Sozialkompetenz/Teamarbeit, Erstellung von Dokumentationen, Übung eines wissenschaftlichen Vortrags, Literaturrecherche) mit physikalischen Inhalten.				
Inhalt	Das Wahlpflichtpraktikum kann in einer Arbeitsgruppe der Physik nach Wahl durchgeführt werden.				
Lehrveranstaltungen und Lehrformen	<ul style="list-style-type: none"> <li>• i.d.R. (P) + (S)</li> </ul>				6-15 SWS
Arbeitsaufwand (Teilleistungen und insgesamt)	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Praktikum mit Seminar</li> </ul>	LP	P (Std)	S (Std)	PV (Std)
		6-15	140-340	20-55	20-55
	Gesamtaufwand	6-15	140-340	20-55	20-55
Studien- /Prüfungsleistungen	Prüfungsart: Praktikumsabschluss (Vortrag und/oder schriftliche Ausarbeitung) Sprache der Prüfung: Deutsch oder Englisch Abweichungen werden zu Beginn der Veranstaltung bekannt gegeben.				

Dauer	1 Semester
Häufigkeit des Angebots	jedes Semester
Literatur	

<b>Modultitel</b>	<b>Theorie der kondensierten Materie I</b>				
Modulnummer/-kürzel	PHY-MV-FN-T14				
Semester	Wintersemester				
Verwendbarkeit, Modultyp und Zuordnung zum Curriculum	<ul style="list-style-type: none"> <li>• M.Sc. Nanowissenschaften: Wahlpflichtmodul</li> <li>• M.Sc. Physik: Wahlpflichtmodul</li> </ul>				
Voraussetzungen für die Teilnahme	Verbindlich: keine Empfohlen: keine				
Modulverantwortliche(r)	Prof. Dr. Daniela Pfannkuche				
Lehrende	Mitglieder des Lehrkörpers aus dem Fachbereich Physik				
Sprache	Deutsch oder Englisch				
Qualifikationsziele	Einsicht in grundlegende Themen und Erfahrung im Umgang mit typischen Methoden der Theorie der kondensierten Materie.				
Inhalt	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Elektronen in Kristallen</li> <li>• Elektronische Bandstruktur</li> <li>• Elektronendynamik in Kristallen</li> <li>• Phononen</li> <li>• Supraleitung</li> </ul>				
Lehrveranstaltungen und Lehrformen	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Theorie der kondensierten Materie I (V)</li> <li>• Übungen zur Theorie der kondensierten Materie I (Ü)</li> </ul>			4 SWS	2 SWS
Arbeitsaufwand (Teilleistungen und insgesamt)		LP	P (Std)	S (Std)	PV (Std)
	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Vorlesung</li> <li>• Übung</li> </ul>	6	56	62	62
	Gesamtaufwand	2	28	32	-
		8	84	94	62
Studien-/Prüfungsleistungen	Prüfungsart: Klausur oder mündliche Prüfung Sprache der Prüfung: Deutsch oder Englisch Abweichungen werden zu Beginn der Veranstaltung bekannt gegeben.				
Dauer	1 Semester				
Häufigkeit des Angebots	jährlich				
Literatur	Wird in der Veranstaltung bekannt gegeben.				

<b>Modultitel</b>	<b>Theorie der kondensierten Materie II</b>
-------------------	---

Modulnummer/-kürzel	PHY-MV-FN-T28				
Semester	Sommersemester				
Verwendbarkeit, Modultyp und Zuordnung zum Curriculum	<ul style="list-style-type: none"> <li>• M.Sc. Nanowissenschaften: Wahlpflichtmodul</li> <li>• M.Sc. Physik: Wahlpflichtmodul</li> </ul>				
Voraussetzungen für die Teilnahme	Verbindlich: keine Empfohlen: keine				
Modulverantwortliche(r)	Prof. Dr. Daniela Pfannkuche				
Lehrende	Mitglieder des Lehrkörpers aus dem Fachbereich Physik				
Sprache	Deutsch oder Englisch				
Qualifikationsziele	Einsicht in moderne Themen und Erfahrung im Umgang mit speziellen Methoden der Theorie der kondensierten Materie.				
Inhalt	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Topologische Eigenschaften ausgewählter Modellsysteme</li> <li>• Ballistischer Transport</li> <li>• Quanten-Hall-Effekte</li> <li>• Green's Funktionen und diagrammatische Störungstheorie</li> <li>• Magnetismus</li> </ul>				
Lehrveranstaltungen und Lehrformen	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Theorie der kondensierten Materie II (V)</li> <li>• Übungen zur Theorie der kondensierten Materie II (Ü)</li> </ul>			4 SWS	2 SWS
Arbeitsaufwand (Teilleistungen und insgesamt)		LP	P (Std)	S (Std)	PV (Std)
	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Vorlesung</li> <li>• Übung</li> </ul>	6	56	62	62
	Gesamtaufwand	2	28	32	-
		8	84	94	62
Studien-/Prüfungsleistungen	Prüfungsart: Klausur oder mündliche Prüfung Sprache der Prüfung: Deutsch oder Englisch Abweichungen werden zu Beginn der Veranstaltung bekannt gegeben.				
Dauer	1 Semester				
Häufigkeit des Angebots	jährlich				
Literatur	Wird in der Veranstaltung bekannt gegeben.				

### Laserphysik und Photonik:

<b>Modultitel</b>	<b>Methoden moderner Röntgenphysik I - Spektroskopie</b>				
Modulnummer/-kürzel	PHY-MV-LP-E05				
Semester	Wintersemester				
Verwendbarkeit, Modultyp und Zuordnung zum Curriculum	<ul style="list-style-type: none"> <li>• M.Sc. Nanowissenschaften: Wahlpflichtmodul</li> <li>• M.Sc. Physik: Wahlpflichtmodul</li> </ul>				

Voraussetzungen für die Teilnahme	Verbindlich: keine Empfohlen: keine				
Modulverantwortliche(r)	PD Dr. Michael Martins; PD Dr. Gerhard Grübel				
Lehrende	PD Dr. Michael Martins; PD Dr. Gerhard Grübel; Dr. Edgar Weckert				
Sprache	Deutsch oder Englisch				
Qualifikationsziele	<p>Studierende haben die Grundlagen moderner Röntgenphysik erarbeitet. Sie kennen die Einführung in die Thematik aber auch die Anwendungen von Röntgenstrahlung zur Untersuchung verschiedenster Systeme. Studierende haben ein fundiertes Fachwissen erlangt, um eine experimentelle Masterarbeit auf dem Gebiet der Wechselwirkung von Röntgenstrahlung mit Materie erfolgreich zu absolvieren.</p> <p>Dazu gehört eine Einführung in die Thematik aber auch die Anwendungen von Röntgenstrahlung zur Untersuchung verschiedenster Systeme</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Wechselwirkung von Röntgenstrahlung mit Materie Absorption, Streuung, Auger Effekt, Harte- und weiche Röntgenstrahlung</li> <li>• Beschleunigerbasierte Quellen für Röntgenstrahlung Synchrotronstrahlung und Freie Elektronen Laser</li> <li>• Experimentelle Methoden Spektroskopie und Beugung</li> <li>• Röntgenoptik Optische Materialien, EUV Lithographie, Fresnel Gleichungen</li> <li>• Anwendung von Röntgenstrahlung Kleine Quantensysteme</li> </ul>				
Inhalt	Wechselwirkung von Röntgenstrahlung mit Materie Erzeugung von Röntgenstrahlung Eigenschaften von Röntgenstrahlung Experimentelle Methoden in der Röntgenspektroskopie				
Lehrveranstaltungen und Lehrformen	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Methoden moderner Röntgenphysik I (V)</li> <li>• Übungen zu Methoden moderner Röntgenphysik I (Ü)</li> </ul>			4 SWS	2 SWS
Arbeitsaufwand (Teilleistungen und insgesamt)	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Vorlesung</li> <li>• Übung</li> </ul>	LP	P (Std)	S (Std)	PV (Std)
		6	56	62	62
		2	28	32	-
	Gesamtaufwand	8	84	94	62
Studien-/Prüfungsleistungen	Prüfungsart: Klausur oder mündliche Prüfung Sprache der Prüfung: Deutsch oder Englisch Abweichungen werden zu Beginn der Veranstaltung bekannt gegeben.				
Dauer	1 Semester				
Häufigkeit des Angebots	jährlich				
Literatur	Wird in der Veranstaltung bekannt gegeben; umfangreiches Folienskript.				

<b>Modultitel</b>	<b>Moderne Molekülphysik – Clusterphysik</b>
Modulnummer/-kürzel	PHY-MV-LP-E06



Semester	Sommersemester				
Verwendbarkeit, Modultyp und Zuordnung zum Curriculum	<ul style="list-style-type: none"> <li>M.Sc. Physik: Wahlpflichtmodul</li> </ul>				
Voraussetzungen für die Teilnahme	Verbindlich: keine Empfohlen: keine				
Modulverantwortliche(r)	PD Dr. Michael Martins				
Lehrende	PD Dr. Michael Martins				
Sprache	Deutsch oder Englisch				
Qualifikationsziele	<p>- Kenntnisse über die Grundlagen, Anwendungen und den wissenschaftlichen Stand der Forschung an Clustern.</p> <p>- Berechnung geometrischer und elektronischer Strukturen kleiner Cluster.</p> <p>- Einblick in das Fachgebiet, das im Größenbereich zwischen der Atom und der Festkörperphysik liegt.</p> <p>- Das erworbene Fachwissen dient dazu, eine experimentelle Masterarbeit im Gebiet sehr kleiner Nanostrukturen erfolgreich anfertigen zu können.</p> <p>Im Einzelnen werden die folgenden Themen behandelt</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>Experimentelle Methoden der Clusterphysik: Herstellung, Nachweis Spektroskopie</li> <li>Einführung in die Quantenchemie sowie der Berechnung von Clustern und Molekülen</li> <li>Geometrische Struktur von Clustern und Strukturbestimmung</li> <li>Elektronische Struktur von Cluster – Photoelektronenspektroskopie, Metallcluster, magnetische Eigenschaften</li> <li>Chemische Eigenschaften und Katalyse</li> <li>Kohlenstoffcluster, Fullerene und Nanotubes</li> </ul> <p>In der Übung wird eine Einführung in quantenchemische Rechnungen gegeben, um die in der Vorlesung diskutierten geometrischen und elektronischen Strukturen kleiner Cluster zu berechnen.</p>				
Inhalt	<ul style="list-style-type: none"> <li>Einführung in die Clusterphysik: Was sind Cluster?</li> <li>Grundlagen quantenchemischer Methoden</li> <li>Experimentelle Methoden der Cluster-, Molekül-, und Ionenphysik</li> <li>Bindungen in Clustern</li> <li>Geometrische, elektronische, chemische und magnetische Eigenschaften von massenselektierten Clustern</li> </ul>				
Lehrveranstaltungen und Lehrformen	<ul style="list-style-type: none"> <li>Moderne Molekülphysik – Clusterphysik (V)</li> <li>Übungen zu Moderne Molekülphysik – Clusterphysik (Ü)</li> </ul>			4 SWS	2 SWS
Arbeitsaufwand (Teilleistungen und insgesamt)		LP	P (Std)	S (Std)	PV (Std)
	<ul style="list-style-type: none"> <li>Vorlesung</li> <li>Übung</li> </ul>	6	56	62	62
		2	28	32	-

	Gesamtaufwand	8	84	94	62
Studien- /Prüfungsleistungen	Prüfungsart: Klausur oder mündliche Prüfung Sprache der Prüfung: Deutsch oder Englisch Abweichungen werden zu Beginn der Veranstaltung bekannt gegeben.				
Dauer	1 Semester				
Häufigkeit des Angebots	jährlich				
Literatur	Umfangreiches Folienskript				

<b>Modultitel</b>	<b>Einführung in die Physik der Quantengase</b>				
Modulnummer/-kürzel	PHY-MV-LP-E09				
Semester	Wintersemester				
Verwendbarkeit, Modultyp und Zuordnung zum Curriculum	<ul style="list-style-type: none"> <li>M.Sc. Physik: Wahlpflichtmodul</li> </ul>				
Voraussetzungen für die Teilnahme	Verbindlich: keine Empfohlen: keine				
Modulverantwortliche(r)	Prof. Dr. Andreas Hemmerich				
Lehrende	Prof. Dr. Andreas Hemmerich				
Sprache	Deutsch oder Englisch				
Qualifikationsziele	Studierende sind mit einem zentralen Gebiet der modernen Atomphysik vertraut. Sie sind an den Stand der Forschung herangeführt und dazu angeleitet worden, selbständig Originalliteratur zu lesen. Experimentelle Beobachtungen und grundlegende theoretische Konzepte sind gleichermaßen Thema. Studierende sind auf eine experimentelle oder theoretische Masterarbeit im Bereich ultrakalter Atome vorbereitet.				
Inhalt	Die Vorlesung behandelt zunächst die Kühlung atomarer Gase mit Hilfe von Laserlicht als zentrale Methode zur Annäherung an den absoluten Temperaturnullpunkt und führt dann in die Quantenphysik von Gasen am absoluten Temperaturnullpunkt ein. Fundamentale Konzepte im Schnittpunkt von Quantenoptik, Thermodynamik und Vielteilchen-Quantenphysik werden detaillierten experimentellen Beobachtungen gegenübergestellt.				
Lehrveranstaltungen und Lehrformen	<ul style="list-style-type: none"> <li>Einführung in die Physik der Quantengase (V)</li> <li>Übungen zur Einführung in die Physik der Quantengase (Ü)</li> </ul>			4 SWS	2 SWS
Arbeitsaufwand (Teilleistungen und insgesamt)	<ul style="list-style-type: none"> <li>Vorlesung</li> <li>Übung</li> </ul>	LP 6 2	P (Std) 56 28	S (Std) 62 32	PV (Std) 62 -
	Gesamtaufwand	8	84	94	62

Studien- /Prüfungsleistungen	Prüfungsart: Klausur oder mündliche Prüfung Sprache der Prüfung: Deutsch oder Englisch Abweichungen werden zu Beginn der Veranstaltung bekannt gegeben.
Dauer	1 Semester
Häufigkeit des Angebots	jährlich
Literatur	Laser Cooling and Trapping, H. Metcalf, P. van der Straaten, Springer Verlag (1999); Bose-Einstein Condensation in Dilute Gases, C. J. Pethick and H. Smith, Cambridge University Press (2002); Vorlesungsunterlagen: <a href="http://photon.physnet.uni-hamburg.de/ilp/hemmerich/teaching/">http://photon.physnet.uni-hamburg.de/ilp/hemmerich/teaching/</a>

<b>Modultitel</b>	<b>Methoden moderner Röntgenphysik II - Struktur und Dynamik kondensierter Materie</b>
Modulnummer/-kürzel	PHY-MV-LP-E10
Semester	Sommersemester
Verwendbarkeit, Modultyp und Zuordnung zum Curriculum	<ul style="list-style-type: none"> <li>• M.Sc. Nanowissenschaften: Wahlpflichtmodul</li> <li>• M.Sc. Physik: Wahlpflichtmodul</li> </ul>
Voraussetzungen für die Teilnahme	Verbindlich: keine Empfohlen: Methoden moderner Röntgenphysik I
Modulverantwortliche(r)	PD Dr. Gerhard Grübel; PD Dr. Michael Martins
Lehrende	PD Dr. Gerhard Grübel; PD Dr. Michael Martins
Sprache	Deutsch oder Englisch
Qualifikationsziele	<p>- Vertiefte Kenntnisse über den wissenschaftlichen Stand der experimentellen Forschung in der Festkörperphysik mit modernen Methoden der Röntgenphysik.</p> <p>- Vertieftes experimentelles Fachwissen, um eine experimentelle Masterarbeit im Gebiet der Festkörper- und Nanostrukturphysik erfolgreich durchführen zu können.</p> <p>Zum Stoff der Vorlesung gehören folgende Themengebiete:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Kohärenz und ihre Anwendung (Interferenz, Beugung, Speckle, Kohärenzlängen und -funktion, Strukturbestimmung mit kohärenter Röntgenstreuung)</li> <li>• Weiche Materie (Polymere, Kolloide, Nanocomposite, Röntgenkleinwinkelstreuung und Anwendungen)</li> <li>• Glass Physik (physikalische Eigenschaften, Strukturbestimmung, Dynamik, kernresonante Streuung)</li> <li>• Korrelierte Elektronensysteme (strukturelle Eigenschaften, Phasenübergänge, resonante Röntgenstreuung, magnetische Eigenschaften, magnetische Streuung)</li> </ul>

Inhalt	Vertiefte Kenntnisse der Festkörperphysik Experimentelle Methoden der Röntgenphysik				
Lehrveranstaltungen und Lehrformen	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Methoden moderner Röntgenphysik II (V)</li> <li>• Übungen zu Methoden moderner Röntgenphysik II (Ü)</li> </ul>			4 SWS	2 SWS
Arbeitsaufwand (Teilleistungen und insgesamt)		LP	P (Std)	S (Std)	PV (Std)
	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Vorlesung</li> <li>• Übung</li> </ul>	6	56	62	62
	Gesamtaufwand	2	28	32	-
		8	84	94	62
Studien- /Prüfungsleistungen	Prüfungsart: Klausur oder mündliche Prüfung Sprache der Prüfung: Deutsch oder Englisch Abweichungen werden zu Beginn der Veranstaltung bekannt gegeben.				
Dauer	1 Semester				
Häufigkeit des Angebots	jährlich				
Literatur	wird in der Vorlesung bekannt gegeben				

<b>Modultitel</b>	<b>Ultrafast Optical Physics I</b>
Modulnummer/-kürzel	PHY-MV-LP-E11
Semester	Wintersemester
Verwendbarkeit, Modultyp und Zuordnung zum Curriculum	<ul style="list-style-type: none"> <li>• M.Sc. Physik: Wahlpflichtmodul</li> </ul>
Voraussetzungen für die Teilnahme	Verbindlich: keine Empfohlen: keine
Modulverantwortliche(r)	Prof. Dr. Markus Drescher
Lehrende	Prof. Dr. Markus Drescher
Sprache	Deutsch oder Englisch
Qualifikationsziele	Die Vorlesung will die besonderen Konzepte vermitteln, die zum Verständnis ultrakurzer Phänomene notwendig sind und die Technologien einführen, die die Grundlage für moderne Kurzpulslaser bilden. Dazu soll Grundlagenwissen vermittelt werden über die Beschreibung ultrakurzer optischer Pulse, über deren Generierung, Manipulation, Diagnostik und Anwendung in modernen Verfahren der nichtlinearen Optik und optischen Spektroskopie.
Inhalt	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Beschreibung ultrakurzer optischer Pulse und deren Wechselwirkung mit Materie;</li> <li>• Erzeugung ultrakurzer Pulse mit Lasern;</li> <li>• Grundzüge der nichtlinearen Optik;</li> <li>• Diagnostik ultrakurzer optischer Pulse;</li> <li>• Ultrakurze Pulse in nicht-konventionellen Spektralbereichen.</li> </ul>

	In den zugeordneten Übungen werden gemeinsam Probleme gelöst, um die erworbenen Kenntnisse anhand von Beispielen und Aufgaben zu verfestigen.				
Lehrveranstaltungen und Lehrformen	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Ultrafast Optical Physics I (V)</li> <li>• Exercises in Ultrafast Optical Physics I (Ü)</li> </ul>				2 SWS 2 SWS
Arbeitsaufwand (Teilleistungen und insgesamt)		LP	P (Std)	S (Std)	PV (Std)
	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Vorlesung</li> <li>• Übung</li> </ul>	3	28	32	30
	Gesamtaufwand	2	28	32	-
		5	56	64	30
Studien-/Prüfungsleistungen	Prüfungsart: mündliche Prüfung Sprache der Prüfung: Deutsch oder Englisch Abweichungen werden zu Beginn der Veranstaltung bekannt gegeben.				
Dauer	1 Semester				
Häufigkeit des Angebots	jährlich				
Literatur	Wird in der Veranstaltung bekannt gegeben.				

<b>Modultitel</b>	<b>Ultrakalte Quantengase</b>				
Modulnummer/-kürzel	PHY-MV-LP-E26				
Semester	Wintersemester				
Verwendbarkeit, Modultyp und Zuordnung zum Curriculum	<ul style="list-style-type: none"> <li>• M.Sc. Physik: Wahlpflichtmodul</li> </ul>				
Voraussetzungen für die Teilnahme	Verbindlich: keine Empfohlen: keine				
Modulverantwortliche(r)	Prof. Dr. Klaus Sengstock				
Lehrende	Mitglieder des Lehrkörpers aus dem Fachbereich Physik				
Sprache	Deutsch oder Englisch				
Qualifikationsziele	Nach erfolgreichem Absolvieren des Moduls haben die Studierenden einen umfassenden Überblick über die aktuellen Forschungsthemen im Bereich ultrakalter Quantengase. Des Weiteren wird ihnen das Rüstzeug in Form experimenteller und theoretischer Methoden für das Verständnis der zugrundeliegenden Konzepte vermittelt.				
Inhalt	Hubbard-Modelle, Zweidimensionale Bose-Gase, Künstliche Eichfelder, BEC-BCS Übergang				
Lehrveranstaltungen und Lehrformen	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Ultrakalte Quantengase (V)</li> <li>• Übungen zu Ultrakalte Quantengase (Ü)</li> </ul>				2 SWS 2 SWS
Arbeitsaufwand (Teilleistungen und insgesamt)		LP	P (Std)	S (Std)	PV (Std)
	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Vorlesung</li> <li>• Übung</li> </ul>	3	28	32	30
		2	28	32	-

	Gesamtaufwand	5	56	64	30
Studien- /Prüfungsleistungen	Prüfungsart: Klausur oder mündliche Prüfung Sprache der Prüfung: Deutsch oder Englisch Abweichungen werden zu Beginn der Veranstaltung bekannt gegeben.				
Dauer	1 Semester				
Häufigkeit des Angebots	jährlich				
Literatur	Many-body physics with ultracold gases; Immanuel Bloch, Jean Dalibard, Wilhelm Zwerger; Rev. Mod. Phys. 80, 885 (2008); Quantum Gas Experiments: Exploring many-body states; edited by Päivi Törmä and Klaus Sengstock; ISBN 978-1-78326-474-2 (2014).				

<b>Modultitel</b>	<b>Nichtklassisches Licht und die zentralen Konzepte der modernen Quantenphysik</b>				
Modulnummer/-kürzel	PHY-MV-LP-E28				
Semester	Wintersemester				
Verwendbarkeit, Modultyp und Zuordnung zum Curriculum	<ul style="list-style-type: none"> <li>M.Sc. Physik: Wahlpflichtmodul</li> </ul>				
Voraussetzungen für die Teilnahme	Verbindlich: keine Empfohlen: Festkörperlaser, Grundkenntnisse der Quantenmechanik				
Modulverantwortliche(r)	Prof. Dr. Roman Schnabel				
Lehrende	Prof. Dr. Roman Schnabel				
Sprache	Deutsch oder Englisch				
Qualifikationsziele	Nach erfolgreichem Absolvieren des Moduls können Studierende die wesentlichen wissenschaftlichen Entwicklungen auf dem Gebiet der nichtklassischen Lichtzustände zusammenfassen und haben über den Begriff der „Nichtklassizität“ ein vertieftes Verständnis der Quantenphysik erlangt.				
Inhalt	Kriterien für Nichtklassizität; Detektion und Erzeugung von Fock-Zuständen, gequetschten Zuständen und Einstein-Podolsky-Rosen verschränkten Zuständen; sowie die Bell'sche Ungleichung, Teleportation und Quantenschlüsselverteilung.				
Lehrveranstaltungen und Lehrformen	<ul style="list-style-type: none"> <li>Nichtklassisches Licht und die zentralen Konzepte der modernen Quantenphysik (V)</li> <li>Übungen zu Nichtklassisches Licht und die zentralen Konzepte der modernen Quantenphysik (Ü)</li> </ul>			4 SWS	2 SWS
Arbeitsaufwand (Teilleistungen und insgesamt)		LP	P (Std)	S (Std)	PV (Std)
	<ul style="list-style-type: none"> <li>Vorlesung</li> <li>Übung</li> </ul>	6 2	56 28	62 32	62 -
	Gesamtaufwand	8	84	94	62

Studien-/Prüfungsleistungen	Prüfungsart: Klausur oder mündliche Prüfung Sprache der Prüfung: Deutsch oder Englisch Abweichungen werden zu Beginn der Veranstaltung bekannt gegeben.
Dauer	1 Semester
Häufigkeit des Angebots	jährlich
Literatur	C. C. Gerry und P. L. Knight, Introductory Quantum Optics, University Press, Cambridge (2005); H.-A. Bachor und T. C. Ralph, A guide to experiments in quantum optics, Wiley, 2nd edition (2003).

<b>Modultitel</b>	<b>New Experiments with XFEL Sources</b>				
Modulnummer/-kürzel	PHY-MV-LP-E29				
Semester	Sommersemester				
Verwendbarkeit, Modultyp und Zuordnung zum Curriculum	<ul style="list-style-type: none"> <li>• M.Sc. Nanowissenschaften: Wahlpflichtmodul</li> <li>• M.Sc. Physik: Wahlpflichtmodul</li> </ul>				
Voraussetzungen für die Teilnahme	Verbindlich: keine Empfohlen: keine				
Modulverantwortliche(r)	Prof. Dr. Christian Bressler; Prof. Dr. Michael Rübhausen				
Lehrende	Mitglieder des Lehrkörpers aus dem Fachbereich Physik				
Sprache	Englisch				
Qualifikationsziele	Nach diesem Kurs können Studierende XFEL Publikationen besser verstehen sowie eigene Ideen zur Durchführung von XFEL Experimenten entwickeln.				
Inhalt	Wesentliche aktuelle wissenschaftliche Entwicklungen auf den Gebieten der Spektroskopie und Streuung mit intensiver Röntgenstrahlung, inklusive Atomphysik, Femtosekunden Molekülphysik, Plasmaphysik. Auch werden experimentelle Hilfsmittel wie Röntgenlinsen, Femtosekunden-Zeitbestimmung zwischen 2 unabhängigen Lichtquellen, Röntgenemissionsspektrometer, Detektoren vorgestellt.				
Lehrveranstaltungen und Lehrformen	<ul style="list-style-type: none"> <li>• New Experiments with XFEL Sources (V)</li> <li>• Exercises in New Experiments with XFEL Sources (Ü)</li> </ul>			2 SWS	1 SWS
Arbeitsaufwand (Teilleistungen und insgesamt)		LP	P (Std)	S (Std)	PV (Std)
	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Vorlesung</li> <li>• Übung</li> </ul>	3	28	32	30
	Gesamtaufwand	4	42	48	30

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