



Universität Hamburg

DER FORSCHUNG | DER LEHRE | DER BILDUNG

Nr. 72 vom 1. September 2026

AMTLICHE BEKANNTMACHUNG

Hg.: Der Präsident der Universität Hamburg
Referat 31 – Qualität und Recht

Fachspezifische Bestimmungen für den Studiengang „Physics (M.Sc.)“

Vom 20. Mai 2026

Das Präsidium der Universität Hamburg hat am 30. Juni 2026 die vom Fakultätsrat der Fakultät für Mathematik, Informatik und Naturwissenschaften am 20. Mai 2026 auf Grund von § 91 Absatz 2 Nummer 1 des Hamburgischen Hochschulgesetzes (HmbHG) vom 18. Juli 2001 (HmbGVBl. S. 171) in der Fassung vom 19. Februar 2025 (HmbGVBl. S. 241) beschlossenen Fachspezifischen Bestimmungen für den Studiengang Physics (M.Sc.) gemäß § 108 Absatz 1 HmbHG genehmigt.

Präambel

Diese Fachspezifischen Bestimmungen ergänzen die Regelungen der Prüfungsordnung der Fakultät für Mathematik, Informatik und Naturwissenschaften für Studiengänge mit dem Abschluss „Master of Science“ (M.Sc.) vom 20. Oktober 2021 in der jeweils geltenden Fassung und beschreiben die Module für das Fach Physics.

I. Ergänzende Bestimmungen

Zu § 1

Studienziel, Prüfungszweck, Akademischer Grad, Durchführungen des Studiengangs

Zu § 1 Absatz 1:

- (1) Der Studiengang Physics (M.Sc.) hat ein forschungsorientiertes Profil.
- (2) Die Masterprüfung bildet einen weiteren berufsqualifizierenden Abschluss einer vertiefenden und forschungsbezogenen, wissenschaftlichen Ausbildung im Studiengang Physics.
- (3) Die Studierenden sollen lernen, komplexe Problemstellungen aufzugreifen und sie mit wissenschaftlichen Methoden auch über die Grenzen des aktuellen Wissensstandes hinaus zu lösen.
- (4) Unter Berücksichtigung der Anforderungen und Veränderungen in der Berufswelt und der fachübergreifenden Bezüge soll das Studium die erforderlichen fachwissenschaftlichen Methoden vermitteln und Fähigkeiten und Kenntnisse erweitern, die zu wissenschaftlicher Arbeit, zur Anwendung und kritischen Einordnung wissenschaftlicher Erkenntnisse und zu verantwortlichem Handeln befähigen.
- (5) Der Masterabschluss in Physics befähigt zur Promotion im Fach Physics. Näheres regelt die Promotionsordnung.

Die Studienziele konzentrieren sich vor allem auf

- a) ein an den aktuellen Forschungsfragen orientiertes Fachwissen auf der Basis vertieften Grundlagenwissens.
- b) methodische und analytische Kompetenzen, die zu einer selbstständigen Erweiterung der wissenschaftlichen Erkenntnisse befähigen, wobei Forschungsmethoden eine zentrale Bedeutung haben.
- c) Vermittlung fachlicher Vielseitigkeit und wissenschaftlicher Tiefe, um bisher noch nicht bearbeitete Probleme in Grundlagenforschung, angewandter Forschung und Technik zu analysieren und lösen zu können.
- d) Befähigung, in der Auseinandersetzung mit Problemstellungen aus der aktuellen Forschung selbstständig, problemorientiert, fächerübergreifend und verantwortungsbewusst zu arbeiten und die Resultate schlüssig darzustellen.
- e) berufsrelevante Schlüsselqualifikationen.

Zu § 4

Studien- und Prüfungsaufbau, Module und Leistungspunkte (LP)

Zu § 4 Absatz 1:

- (1) Detaillierte Beschreibungen aller Module finden sich unter II. Modulbeschreibungen dieser Fachspezifischen Bestimmungen und im Modulhandbuch.

- (2) Der Masterstudiengang gliedert sich in zwei Abschnitte, die einjährige fachliche Vertiefungsphase und die einjährige Forschungsphase:
1. Die einjährige fachliche Vertiefungsphase dient dem Erarbeiten der für eine eigenständige produktive Arbeit in der Physik notwendigen fortgeschrittenen Kenntnisse. Sie besteht aus physikalischen Vertiefungsmodulen (= Wahlpflichtmodulen), die den folgenden sieben Vertiefungsbereichen zugeordnet sind (deutsche Bezeichnungen in Klammern).
 - a) Accelerator and Particle Physics (Beschleuniger- und Teilchenphysik)
 - b) Astronomy and Astrophysics (Astronomie und Astrophysik)
 - c) Biomedical Physics (Biomedizinische Physik)
 - d) Quantum Computing, Information and Technology (Quantencomputing, Information und Technologie)
 - e) Theoretical Physics (Theoretische Physik)
 - f) X-ray and Ultrafast Science (Röntgen- und Ultrakurzzeitphysik)
 - g) Solid-State and Nanostructure Physics (Festkörper- und Nanostrukturphysik)

Ein Modul kann gegebenenfalls in mehreren Vertiefungsbereichen wählbar sein. Ein Modul kann aber immer nur in einem Vertiefungsbereich eingebracht werden.

Im Wahlpflichtbereich müssen Vertiefungsmodule im Gesamtumfang von 48 Leistungspunkten erfolgreich abgeschlossen werden. Folgende Voraussetzungen müssen dabei erfüllt werden:

Mindestens einer der sieben oben genannten Vertiefungsbereiche ist durch die dem Vertiefungsbereich zugeordneten Module im Umfang von mindestens 16 Leistungspunkten abzudecken. Maximal dürfen aus einem Vertiefungsbereich 36 Leistungspunkte eingebracht werden.

Von den einzubringenden 48 Leistungspunkten im Vertiefungsbereich müssen mindestens 8 Leistungspunkte durch Mastermodule der Experimentalphysik und mindestens 8 Leistungspunkte durch Mastermodule der Theoretischen Physik abgedeckt werden.

Der Freie Wahlbereich hat einen Umfang von 12 Leistungspunkten. Die Module für den Freien Wahlbereich können aus dem für den Freien Wahlbereich und Crossdisciplinary Learning von den anbietenden Fächern geöffneten Lehrangebot der Universität Hamburg ausgewählt werden. Der zuständige Prüfungsausschuss kann Empfehlungen für den Freien Wahlbereich aussprechen.

2. Die einjährige Forschungsphase setzt sich aus drei Modulen zusammen und ist als eine inhaltlich untrennbare Einheit anzusehen. Das Einarbeitungsprojekt und das Vorbereitungsprojekt umfassen zusammen 30 Leistungspunkte und sind Bestandteil des dritten Fachsemesters. In den beiden Projekten lernen die Studierenden den aktuellen Forschungsstand und spezielle Methoden des Gebiets kennen, aus dem das Thema der Masterarbeit gewählt wird. Im Anschluss daran wird im vierten Semester die sechsmonatige Masterarbeit im Umfang von 30 Leistungspunkten angefertigt. Mit dieser Arbeit sollen die Studierenden zeigen, dass sie in der Lage sind, innerhalb einer Frist ein vorgegebenes physikalisches Problem aus der aktuellen Forschung nach wissenschaftlichen Methoden unter Betreuung zu bearbeiten und die Aufgabenstellung, die Mittel zur Lösung sowie die Lösung selbst verständlich und folgerichtig darzustellen und zu interpretieren.

Zur Forschungsphase bzw. zum Einarbeitungsprojekt kann zugelassen werden, wer im ersten Studienjahr Module im Umfang von mindestens 44 Leistungspunkten erfolgreich absolviert hat. Der Eintritt in die Forschungsphase ist aktenkundig zu machen: Beginn, Forschungsgebiet, betreuende Hochschullehrerin bzw. betreuender Hochschullehrer oder Aufgabenstellerin bzw. Aufgabensteller sind dem Studienbüro Physik zu Beginn mitzuteilen und ggf. vom Prüfungsausschuss zu beschließen.

1. FS	Physikalische Vertiefung (24 LP)	Wahlbereich (6 LP)
2. FS	Physikalische Vertiefung (24 LP)	Wahlbereich (6 LP)
3. FS	Einarbeitungsprojekt (15 LP)	Vorbereitungsprojekt inkl. Seminar (15 LP)
4. FS	Masterarbeit (30 LP)	

- (3) Module, die im Vertiefungsbereich gewählt wurden, können nicht gleichzeitig im Freien Wahlbereich angerechnet werden.

Zu § 5

Lehrveranstaltungsarten

Zu § 5 Absatz 1:

- (1) Alle Lehrveranstaltungsarten nach § 5 der Prüfungsordnung M.Sc. sind möglich. Typisch ist die Kombination von Vorlesungen und Arbeiten in Kleingruppen wie Übungen und Praktika in der Fachlichen Vertiefungsphase sowie Projekte und Seminare in der Forschungsphase.
- (2) Die Anwesenheitspflicht gilt nicht für die Zulassung zu Wiederholungsprüfungen.

Zu § 5 Absätze 2 und 3:

- (1) Für folgende Lehrveranstaltungsarten besteht Anwesenheitspflicht:
 - a) Seminare und Proseminare, da diese auch zum Ziel haben, die Kritikfähigkeit und die Fähigkeit, Diskussionen zu führen, zu verbessern;
 - b) Praktika, da die Studierenden unter Anleitung zum Lösen praktischer Problemstellungen befähigt werden sollen;
 - c) Projekte, da diese auch dem Erwerb von Sozialkompetenzen dienen, z. B. der Befähigung zur Projektarbeit im Team;
 - d) Übungen, in denen die Qualifikationsziele des zugehörigen Moduls außerhalb der Übungen in der Regel nicht vollständig erreicht werden können.
- (2) Die Lehrveranstaltungssprache in Physics (M.Sc.) ist Deutsch oder Englisch. Die jeweilige Unterrichts- und Prüfungssprache wird entweder zu Beginn der Lehrveranstaltung bekannt gegeben oder in der Modulbeschreibung festgelegt.

Zu § 13

Studienleistungen und Modulprüfungen

Zu § 13 Absatz 4:

- (1) Der Umfang des Projektabschlusses in Form des Abschlussberichts umfasst 15 bis 30 Seiten.
- (2) Weitere Prüfungsarten sind:
Ein Kolloquium bestehend aus einem Vortrag und einer wissenschaftlichen Diskussion zu den Inhalten des Vortrages. Der Gesamtumfang des Kolloquiums liegt zwischen 30 und 60 Minuten.

Zu § 13 Absatz 10:

Prüfungsleistungen werden in englischer Sprache erbracht. In der Regel findet die Prüfung in der Sprache der Lehrveranstaltung statt.

Zu § 14

Masterarbeit

Zu § 14 Absatz 1:

Verpflichtender Bestandteil des Abschlussmoduls ist neben der Masterarbeit ein Kolloquium bestehend aus einem englischsprachigen Vortrag und einer wissenschaftlichen Diskussion zu den Inhalten der Masterarbeit im Rahmen eines wissenschaftlichen Seminars. Das Kolloquium geht zu einem Anteil von einem Sechstel in die Bewertung des Abschlussmoduls ein und muss mindestens mit der Note 4,0 bestanden sein. Das Kolloquium soll bis spätestens sechs Wochen nach Abgabe der schriftlichen Arbeit gehalten werden. Die Bewertung der Masterarbeit soll unverzüglich, spätestens innerhalb der sechs Wochen nach Einreichung der schriftlichen Arbeit, erfolgen.

Zu § 14 Absatz 2:

Zur Masterarbeit bzw. zum Abschlussmodul kann zugelassen werden, wer mindestens 75 Leistungspunkte inklusive dem Einarbeitungs- und dem Vorbereitungsprojekt erworben hat.

Zu § 14 Absatz 4:

Die Masterarbeit wird in englischer Sprache abgefasst.

Zu § 14 Absatz 5:

Der Arbeitsaufwand für die Masterarbeit beträgt 30 Leistungspunkte. Der Bearbeitungszeitraum der Masterarbeit beträgt 6 Monate. Der Umfang der Masterarbeit beläuft sich in der Regel auf 30–60 Seiten.

Zu § 15

Bewertung der Prüfungsleistungen

Zu § 15 Absatz 3:

Wenn ein Modul durch mehrere Teilprüfungen abgeschlossen wird, ergibt sich die Modulnote aus dem arithmetischen Mittel der Noten der Teilprüfungen. Abweichungen (insbesondere eine prozentuale Gewichtung der Noten für die Teilleistungen) sind den Modulbeschreibungen zu entnehmen.

Die Gesamtnote der Masterprüfung setzt sich zusammen aus der Note der Vertiefungsphase (50 %) und aus der Note der Masterarbeit bzw. des Abschlussmoduls (50 %).

Die Note der Vertiefungsphase ergibt sich aus dem nach Leistungspunkten gewichteten arithmetischen Mittel der bestbenoteten Vertiefungsmodule im Umfang von 48 Leistungspunkten. Die Note des Abschlussmoduls (Masterarbeit) ergibt sich zu 5/6 aus der Durchschnittsnote der Gutachten und zu 1/6 aus der Note des Kolloquiums.

Die Prüfungsleistungen aus dem Freien Wahlbereich, dem Einarbeitungsprojekt und dem Vorbereitungsprojekt gehen nicht in die Gesamtnote ein.

Zu § 15 Absatz 4:

Die Gesamtnote „Mit Auszeichnung bestanden“ wird vergeben, wenn die Masterarbeit mit 1,0 bewertet wurde und alle notenrelevanten Modulprüfungen bis auf höchstens eine mit 1,0 bewertet wurden. Unbenotete Module sowie solche, die mangels Vergleichbarkeit als „bestanden“ anerkannt wurden, gehen in die Berechnung der Gesamtnote nicht ein.

Zu § 20

Zeugnis, Urkunde und Diploma Supplement

Zu § 20 Absatz 1:

Optional kann der Studienabschluss „Master of Science in Physics“ im Zeugnis um die Angabe eines der unter Zu § 4 Absatz 1 (2) genannten Vertiefungsbereiche ergänzt werden. Voraussetzung hierfür ist, dass im jeweiligen Vertiefungsbereich mindestens 32 Leistungspunkte erfolgreich eingebracht werden und die Masterarbeit dem entsprechenden Vertiefungsbereich zugeordnet ist. Die Zuordnung der Masterarbeit erfolgt durch die betreuende Person im Einvernehmen mit der bzw. dem Prüfungsausschussvorsitzenden.

II. Modulbeschreibungen

Pflichtmodule

Modultyp	Pflichtmodul
Titel	Introductory Project / Einarbeitungsprojekt
Sigle	PHY-MF-AA/AP/BP/FN/QP/XU/TP-EP
Qualifikationsziele	Im Einarbeitungsprojekt ist das Studium eines modernen Forschungsgebietes vertieft worden, aus dem das Thema der Masterarbeit stammen soll, mit dem Ziel der Einarbeitung in die wissenschaftliche Literatur auf dem aktuellen Stand. Die oder der Studierende erlernt das selbstständige Sammeln nötiger Informationen, von Hintergrundwissen und die Einarbeitung in ein Spezialthema. Für dieses Modul ist die oder der Studierende in eine wissenschaftliche Arbeitsgruppe eingebunden. Durch die Einbindung eine Arbeitsgruppe lernt sie oder er Gruppenarbeit und das optimale Nutzen informellen Wissens im Nahfeld.
Inhalte	• Einarbeitung in das Themengebiet, • Einarbeitung in die theoretischen und/oder experimentellen Arbeitstechniken und Hilfsmittel, • Bearbeitung von Teilaspekten, • Formulierung eines Arbeits- und Zeitplans.
Lehr- und Lernformen	Selbstständige wissenschaftliche Arbeit unter Anleitung: 15 SWS
Unterrichtssprache	Englisch oder Deutsch
Voraussetzungen für die Teilnahme	Verbindlich: mindestens 44 LP in Vertiefungsmodulen (siehe Zu § 4 Absatz 1 (2) Nr. 2 zum Eintritt in die Forschungsphase) Empfohlen: Keine
Modulabschluss	Art der Modulprüfung: Projektabschluss (unbenotet) Sprache der Prüfung: Deutsch oder Englisch
Arbeitsaufwand in den einzelnen Modulteilern	Selbstständige wissenschaftliche Arbeit unter Anleitung: 15 LP
Gesamtarbeitsaufwand des Moduls	15 LP
Dauer	1 Semester
Häufigkeit des Angebots	Jedes Semester

Modultyp	Pflichtmodul
Titel	Preparatory Project / Vorbereitungsprojekt
Sigle	PHY-MF-AA/AP/BP/FN/QP/XU/TP-VP
Qualifikationsziele	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. Das dazugehörige Arbeitsgruppenseminar dient der Einarbeitung in Problemstellungen der aktuellen Forschung in dem Fach, in dem die Kandidatin oder der Kandidat die Masterarbeit durchzuführen beabsichtigt. Für dieses Modul ist die oder der Studierende in eine wissenschaftliche Arbeitsgruppe eingebunden. Durch die Einbindung in eine Arbeitsgruppe lernt sie oder er Gruppenarbeit und das optimale Nutzen informellen Wissens im Nahfeld.
Inhalte	Einführung in das wissenschaftliche Arbeiten und die fachlichen und methodischen Grundlagen für die Masterarbeit sowie Planung des in der Masterarbeit zu bearbeitenden Forschungsprojekts. Erwerb der notwendigen experimentellen bzw. theoretisch-mathematischen Fähigkeiten, die Voraussetzung für die erfolgreiche Absolvierung der Forschungsaufgabe der sich anschließenden Masterarbeit sind. Im Arbeitsgruppenseminar werden verschiedene Themen des Arbeitsgebietes der Arbeitsgruppe vorgetragen und diskutiert. Das Modul bildet mit dem vorangegangenen Modul Einarbeitungsprojekt und dem anschließenden Modul Masterarbeit eine inhaltlich untrennbare Einheit und muss daher in dem gleichen Forschungsschwerpunkt belegt werden, in der auch die Masterarbeit geschrieben werden soll.
Lehr- und Lernformen	Selbstständige wissenschaftliche Arbeit unter Anleitung: 15 SWS
Unterrichtssprache	Englisch oder Deutsch
Voraussetzungen für die Teilnahme	Verbindlich: Erfolgreiches Absolvieren des Moduls Einarbeitungsprojekt/Introductory Project Empfohlen: Keine
Modulabschluss	Voraussetzung zur Modulprüfung: Projektabschluss Art der Modulprüfung: Kolloquium (unbenotet) Sprache der Prüfung: Deutsch oder Englisch
Arbeitsaufwand in den einzelnen Modulteilern	Selbstständige wissenschaftliche Arbeit unter Anleitung: 15 LP
Gesamtarbeitsaufwand des Moduls	15 LP
Dauer	1 Semester
Häufigkeit des Angebots	Jedes Semester

Modultyp	Pflichtmodul
Titel	Abschlussmodul – Masterarbeit (Master's Thesis)
Sigle	PHY-MF-MA
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.
Inhalte	Die Masterarbeit bildet den Abschluss des Masterstudiums. Die Masterarbeit besteht aus • der Durchführung eines Forschungs- bzw. wissenschaftlichen Entwicklungsprojekts; • experimenteller und/oder theoretischer Bearbeitung des Themas; • der Auswertung und der Aufbereitung der Ergebnisse; • der schriftlichen Dokumentation der Ergebnisse durch Abfassen der Masterarbeit; • einer mündlichen Präsentation der Ergebnisse in einem Vortrag und wissenschaftliche Diskussion. Die Ergebnisse sollen in der Regel zu einer wissenschaftlichen Publikation beitragen.
Lehr- und Lernformen	Selbstständige wissenschaftliche Arbeit
Unterrichtssprache	Englisch oder Deutsch
Voraussetzungen für die Teilnahme	Zur Masterarbeit bzw. zum Abschlussmodul kann zugelassen werden, wer mindestens 75 Leistungspunkte inklusive dem Einarbeitungs- und dem Vorbereitungsprojekt erworben hat.
Modulabschluss	Art der Modulteilprüfungen: schriftliche Masterarbeit und Kolloquium. Das Kolloquium geht zu 1/6 in die Note des Abschlussmoduls ein (benotet) Sprache der Prüfung: Deutsch oder Englisch
Arbeitsaufwand in den einzelnen Modulteilern	Selbstständige wissenschaftliche Arbeit: 30 LP
Gesamtarbeitsaufwand des Moduls	30 LP
Dauer	900 Stunden Arbeitsaufwand innerhalb von maximal 6 Monaten.
Häufigkeit des Angebots	Jedes Semester

Wahlpflichtmodule

Modultyp	Wahlpflichtmodul
Titel	Chemical Evolution of the Universe
Sigle	PHY-MV-E102
Qualifikationsziele	Nach erfolgreichem Abschluss des Moduls sind die Studierenden in der Lage, die wichtigsten astrophysikalischen Prozesse zu beschreiben, die die chemische Entwicklung des Universums bestimmen. Sie können die Entstehung der chemischen Elemente von der primordialen Nukleosynthese bis zur galaktischen und kosmischen chemischen Evolution erläutern und die Beiträge von Sternentwicklung, Supernovae und Neutroneneinfangsprozessen quantitativ und konzeptionell einordnen. Darüber hinaus sind sie befähigt, Beobachtungsdaten und theoretische Modelle zur chemischen Entwicklung kritisch zu analysieren.
Inhalte	Kosmologischer Hintergrund, primordiale Nukleosynthese, Strukturbildung, Grundlagen der Sternentwicklung und Nukleosynthese, Neutroneneinfangsprozesse, galaktische chemische Entwicklung, kosmische chemische Entwicklung.
Lehr- und Lernformen	• Chemical Evolution of the Universe (V): 2 SWS • Exercises in Chemical Evolution of the Universe (Ü): 2 SWS
Unterrichtssprache	Englisch
Voraussetzungen für die Teilnahme	Verbindlich: Keine Empfohlen: Einführung in die Astronomie I und II (B.Sc.)
Modulabschluss	Voraussetzungen zur Modulprüfung: Keine Art der Modulprüfung: Klausur oder mündliche Prüfung (benotet) Prüfungssprache: Englisch Abweichungen werden vor Beginn der Lehrveranstaltung bekannt gegeben.
Arbeitsaufwand in den einzelnen Modulteilern	• Chemical Evolution of the Universe (V): 3 LP • Exercises in Chemical Evolution of the Universe (Ü): 2 LP
Gesamtarbeitsaufwand des Moduls	5 LP
Dauer	Ein Semester
Häufigkeit des Angebots	i. d. R. alle zwei Jahre im Sommersemester

Modultyp	Wahlpflichtmodul
Titel	Cosmology
Sigle	PHY-MV-E103
Qualifikationsziele	Nach erfolgreichem Abschluss des Moduls können die Studierenden zentrale Konzepte der modernen Kosmologie erläutern, theoretische Modelle und beobachtungsbasierte Ergebnisse analysieren sowie mathematische und numerische Methoden zur Lösung kosmologischer Problemstellungen anwenden.
Inhalte	• Grundlagen der theoretischen Kosmologie • Beobachtende Kosmologie und astronomische Messtechniken • Kosmologische Modelle und großskalige Strukturen des Universums • Kosmische Expansion und das Standardmodell der Kosmologie • Kosmische Hintergrundstrahlung und Physik des frühen Universums
Lehr- und Lernformen	• Cosmology (V): 3 SWS • Exercises in Cosmology (Ü): 1 SWS
Unterrichtssprache	Englisch
Voraussetzungen für die Teilnahme	Verbindlich: Keine Empfohlen: Einführung in die Astronomie I und II (B.Sc.)
Modulabschluss	Voraussetzungen zur Modulprüfung: Keine Art der Modulprüfung: Klausur oder mündliche Prüfung (benotet) Prüfungssprache: Englisch Abweichungen werden vor Beginn der Lehrveranstaltung bekannt gegeben.
Arbeitsaufwand in den einzelnen Modulteilern	• Cosmology (V): 5 LP • Exercises in Cosmology (Ü): 1 LP
Gesamtarbeitsaufwand des Moduls	6 LP
Dauer	Ein Semester
Häufigkeit des Angebots	Wintersemester (unregelmäßig)

Modultyp	Wahlpflichtmodul
Titel	Extragalactic Astrophysics
Sigle	PHY-MV-E104
Qualifikationsziele	Nach erfolgreichem Abschluss des Moduls können die Studierenden zentrale Konzepte der extragalaktischen Astrophysik erläutern, Beobachtungsdaten von Galaxien und großräumigen Strukturen analysieren, theoretische Modelle zur Galaxienentstehung und -entwicklung bewerten sowie mathematische und numerische Methoden zur Lösung astrophysikalischer Fragestellungen anwenden.
Inhalte	• Grundlagen der extragalaktischen Astronomie • Struktur und Komponenten des Milchstraßensystems • Großräumige Struktur des Universums • Galaxienentstehung und -entwicklung • Eigenschaften und Dynamik von Galaxienhaufen • Beobachtungsmethoden der extragalaktischen Astronomie
Lehr- und Lernformen	• Extragalactic Astrophysics (V): 3 SWS • Exercises in Extragalactic Astrophysics (Ü): 1 SWS
Unterrichtssprache	Englisch
Voraussetzungen für die Teilnahme	Verbindlich: Keine Empfohlen: Einführung in die Astronomie I und II (B.Sc.)
Modulabschluss	Voraussetzungen zur Modulprüfung: Keine Art der Modulprüfung: Klausur oder mündliche Prüfung (benotet) Prüfungssprache: Englisch Abweichungen werden vor Beginn der Lehrveranstaltung bekannt gegeben.
Arbeitsaufwand in den einzelnen Modulteilern	• Extragalactic Astrophysics (V): 5 LP • Exercises in Extragalactic Astrophysics (Ü): 1 LP
Gesamtarbeitsaufwand des Moduls	6 LP
Dauer	Ein Semester
Häufigkeit des Angebots	Wintersemester (unregelmäßig)

Modultyp	Wahlpflichtmodul
Titel	Galactic Astrophysics
Sigle	PHY-MV-E105
Qualifikationsziele	Nach erfolgreichem Abschluss des Moduls sind die Studierenden in der Lage, die Struktur, Dynamik und Entwicklung der Milchstraße systematisch zu beschreiben. Sie können die wichtigsten galaktischen Komponenten und Objekttypen einordnen und deren physikalische Eigenschaften erklären. Zudem sind sie in der Lage, analytische Methoden auf ausgewählte Problemstellungen der galaktischen Astrophysik anzuwenden und Beobachtungsdaten konzeptionell zu interpretieren.
Inhalte	Grundlagenwissen der galaktischen Astronomie in Theorie und Beobachtung; die Milchstraße und ihre Komponenten; Strukturen der Milchstraße; Objekte in der Milchstraße und Evolution der Milchstraße.
Lehr- und Lernformen	- Galactic Astrophysics (V): 3 SWS - Exercises in Galactic Astrophysics (Ü): 1 SWS
Unterrichtssprache	Englisch
Voraussetzungen für die Teilnahme	Verbindlich: Keine Empfohlen: Einführung in die Astronomie I und II (B.Sc.)
Modulabschluss	Voraussetzungen zur Modulprüfung: Keine Art der Modulprüfung: Klausur oder mündliche Prüfung (benotet) Prüfungssprache: Englisch Abweichungen werden vor Beginn der Lehrveranstaltung bekannt gegeben.
Arbeitsaufwand in den einzelnen Modulteilern	- Galactic Astrophysics (V): 5 LP - Exercises in Galactic Astrophysics (Ü): 1 LP
Gesamtarbeitsaufwand des Moduls	6 LP
Dauer	Ein Semester
Häufigkeit des Angebots	Jährlich im Sommersemester

Modultyp	Wahlpflichtmodul
Titel	Galaxy Evolution
Sigle	PHY-MV-E106
Qualifikationsziele	Nach erfolgreichem Abschluss des Moduls kennen die Studierenden die Entwicklung des Universums, den linearen und nicht-linearen Wachstum von kosmischen Strukturen, die Entstehung von elliptischen und Spiralgalaxien, sowie die Beobachtungstechniken, mit denen Galaxien observiert werden.
Inhalte	Übersicht von Galaxien und physikalischen Prozessen, kosmologischer Hintergrund, (statistische) Eigenschaften von Galaxien, Wachstum von Dichtestörungen, Entstehung von Dunkle-Materie-Halos, Entstehung von Gas-Halos, Verbindung zwischen Halos und Galaxien, Entstehung von Scheibengalaxien, Beobachtungsanlagen
Lehr- und Lernformen	- Galaxy Evolution (V): 2 SWS - Exercises in Galaxy Evolution (Ü): 2 SWS
Unterrichtssprache	Englisch
Voraussetzungen für die Teilnahme	Verbindlich: Keine Empfohlen: Einführung in die Astronomie und Astrophysik I und II (B.Sc.)
Modulabschluss	Voraussetzungen zur Modulprüfung: Keine Art der Modulprüfung: Klausur oder mündliche Prüfung (benotet) Prüfungssprache: Englisch Abweichungen werden vor Beginn der Lehrveranstaltung bekannt gegeben.
Arbeitsaufwand in den einzelnen Modulteilern	- Galaxy Evolution (V): 3 LP - Exercises in Galaxy Evolution (Ü): 2 LP
Gesamtarbeitsaufwand des Moduls	5 LP
Dauer	Ein Semester
Häufigkeit des Angebots	i. d. R. alle zwei Jahre im Sommersemester

Modultyp	Wahlpflichtmodul
Titel	Astrophysical Gasdynamics
Sigle	PHY-MV-T101
Qualifikationsziele	Nach erfolgreichem Abschluss des Moduls haben die Studierenden ein gutes qualitatives Verständnis von gasdynamischen Phänomenen und sie sind in der Lage, grundlegende Konzepte der Strömungsmechanik zu erklären und anzuwenden. Sie können die grundlegenden hydrodynamischen Gleichungen formulieren, mathematisch analysieren auf typische Problemstellungen innerhalb und ausserhalb der Astrophysik übertragen.
Inhalte	• Grundlagen der Gasdynamik • Partielle Differentialgleichungen in der Strömungsdynamik • Strömungsphänomene im Alltag • Astrophysikalische Anwendungen der Strömungsdynamik
Lehr- und Lernformen	• Astrophysical Gasdynamics (V): 3 SWS • Exercises in Astrophysical Gasdynamics (Ü): 1 SWS
Unterrichtssprache	Englisch
Voraussetzungen für die Teilnahme	Verbindlich: Theoretische Physik I–III (B.Sc.) Empfohlen: General Relativity
Modulabschluss	Voraussetzungen zur Modulprüfung: Keine Art der Modulprüfung: Klausur oder mündliche Prüfung (70%) sowie Übungsabschluss 30% (benotet) Prüfungssprache: Englisch Abweichungen werden vor Beginn der Lehrveranstaltung bekannt gegeben.
Arbeitsaufwand in den einzelnen Modulteilern	• Astrophysical Gasdynamics (V): 5 LP • Exercises in Astrophysical Gasdynamics (Ü): 1 LP
Gesamtarbeitsaufwand des Moduls	6 LP
Dauer	Ein Semester
Häufigkeit des Angebots	Jährlich im Wintersemester

Modultyp	Wahlpflichtmodul
Titel	Computational Astrophysics
Sigle	PHY-MV-T102
Qualifikationsziele	Nach erfolgreichem Abschluss des Moduls können die Studierenden geeignete numerische Methoden für astrophysikalische Problemstellungen auswählen und implementieren, Rechenergebnisse kritisch analysieren sowie rechnergestützte Simulationen effizient einsetzen und bewerten.
Inhalte	• Hardware-Grundlagen für wissenschaftliches Rechnen • Parallelisierung und parallele Rechenstrategien • GPU-Computing-Konzepte und Anwendungen • Typische numerische Fehlerquellen und Fehleranalyse • Numerische Methoden zur Lösung nichtlinearer Gleichungen • Numerische Verfahren für lineare Gleichungssysteme • Numerische Lösung von Differentialgleichungen • Monte-Carlo-Simulationsmethoden • Fast-Fourier-Transformation (FFT) und Wavelet-Analyse • Datenanpassung und Parameterschätzung
Lehr- und Lernformen	• Computational Astrophysics (V): 3 SWS • Exercises in Computational Astrophysics (Ü): 1 SWS
Unterrichtssprache	Englisch oder Deutsch
Voraussetzungen für die Teilnahme	Verbindlich: Keine Empfohlen: Einführung in die Astronomie I und II (B.Sc.), elementare Programmierkenntnisse
Modulabschluss	Voraussetzungen zur Modulprüfung: Keine Art der Modulprüfung: Klausur (benotet) Prüfungssprache: Englisch oder Deutsch Abweichungen werden vor Beginn der Lehrveranstaltung bekannt gegeben.
Arbeitsaufwand in den einzelnen Modulteilern	• Computational Astrophysics (V): 5 LP • Exercises in Computational Astrophysics (Ü): 1 LP
Gesamtarbeitsaufwand des Moduls	6 LP
Dauer	Ein Semester
Häufigkeit des Angebots	i. d. R. einmal im Jahr

Modultyp	Wahlpflichtmodul
Titel	Introduction to General Relativity and Astrophysical Applications
Sigle	PHY-MV-T103
Qualifikationsziele	Nach erfolgreichem Abschluss des Moduls können die Studierenden die grundlegenden Konzepte der Allgemeinen Relativitätstheorie erläutern, gekrümmte Raumzeiten mathematisch beschreiben, geodätische Bewegung und Einsteinsche Feldgleichungen anwenden sowie relativistische Effekte in astrophysikalischen Systemen analysieren.
Inhalte	• Krummlinige Koordinaten und Raumzeitkonzepte • Spezielle Relativitätstheorie und Raumzeitstruktur • Äquivalenzprinzip • Gekrümmte Raumzeit und Geodäten • Tensorrechnung • Einsteinsche Feldgleichungen • Schwarzschild-Geometrie • Schwarze Löcher und Kerr-Schwarze Löcher • Akkretionsscheiben • Gravitationslinsen • Gravitationswellen und Gravitationswellenquellen • Anwendungen in der Kosmologie
Lehr- und Lernformen	• Introduction to General Relativity and Astrophysical Applications (V): 4 SWS • Exercises in Introduction to General Relativity and Astrophysical Applications (Ü): 2 SWS
Unterrichtssprache	Englisch
Voraussetzungen für die Teilnahme	Verbindlich: Keine Empfohlen: Einführung in die Astrophysik I und II (B.Sc.)
Modulabschluss	Voraussetzungen zur Modulprüfung: Keine Art der Modulprüfung: Klausur (benotet) Prüfungssprache: Englisch Abweichungen werden vor Beginn der Lehrveranstaltung bekannt gegeben.
Arbeitsaufwand in den einzelnen Modulteilern	• Introduction to General Relativity and Astrophysical Applications (V): 6 LP • Exercises in Introduction to General Relativity and Astrophysical Applications (Ü): 2 LP
Gesamtarbeitsaufwand des Moduls	8 LP
Dauer	Ein Semester
Häufigkeit des Angebots	Jährlich im Sommersemester

Modultyp	Wahlpflichtmodul
Titel	MHD Simulations with the FLASH Code
Sigle	PHY-MV-T104
Qualifikationsziele	Nach erfolgreichem Abschluss des Moduls können die Studierenden den Simulationscode FLASH zur Lösung magnetohydrodynamischer Problemstellungen einsetzen, astrophysikalische MHD-Simulationen durchführen, numerische Ergebnisse analysieren sowie physikalische Prozesse in MHD-Systemen interpretieren.
Inhalte	Ausgewählte Themen der Magnetohydrodynamik (MHD) und numerische Lösungen von MHD-Problemen.
Lehr- und Lernformen	MHD Simulations with the FLASH Code (V): 2 SWS
Unterrichtssprache	Englisch
Voraussetzungen für die Teilnahme	Verbindlich: Keine Empfohlen: Kenntnisse über numerische Methoden und Magneto-hydrodynamik
Modulabschluss	Voraussetzungen zur Modulprüfung: erfolgreiche Teilnahme an den Übungen Art der Modulprüfung: Mündliche Prüfung (benotet) Prüfungssprache: Englisch Abweichungen werden vor Beginn der Lehrveranstaltung bekannt gegeben.
Arbeitsaufwand in den einzelnen Modulteilern	MHD Simulations with the FLASH Code (V): 3 LP
Gesamtarbeitsaufwand des Moduls	3 LP
Dauer	Ein Semester
Häufigkeit des Angebots	Jedes Semester

Modultyp	Wahlpflichtmodul
Titel	Stellar and Planetary Atmospheres
Sigle	PHY-MV-T105
Qualifikationsziele	Nach erfolgreichem Abschluss des Moduls können die Studierenden den Aufbau von Stern- und Planetenatmosphären erklären, Strahlungstransportprozesse beschreiben, numerische Atmosphärenmodelle anwenden sowie Spektren analysieren und physikalisch interpretieren.
Inhalte	• Aufbau und Zusammensetzung von Sternatmosphären • Aufbau und Zusammensetzung von Planetenatmosphären • Grundlagen des Strahlungstransports in astrophysikalischen Atmosphären • Numerische Modellierung von Stern- und Planetenatmosphären • Opazitätsquellen und Spektrallinienbildung • Entstehung von Kontinuums- und Linienspektren • Interpretation und Analyse beobachteter Spektren
Lehr- und Lernformen	• Stellar and Planetary Atmospheres (V): 3 SWS • Exercises in Stellar and Planetary Atmospheres (Ü): 1 SWS
Unterrichtssprache	Englisch oder Deutsch
Voraussetzungen für die Teilnahme	Verbindlich: Keine Empfohlen: Einführung in die Astrophysik I und II (B.Sc.)
Modulabschluss	Voraussetzungen zur Modulprüfung: Keine Art der Modulprüfung: Klausur oder mündliche Prüfung (benotet) Prüfungssprache: Englisch oder Deutsch Abweichungen werden vor Beginn der Lehrveranstaltung bekannt gegeben.
Arbeitsaufwand in den einzelnen Modulteilern	• Stellar and Planetary Atmospheres (V): 5 LP • Exercises in Stellar and Planetary Atmospheres (Ü): 1 LP
Gesamtarbeitsaufwand des Moduls	6 LP
Dauer	Ein Semester
Häufigkeit des Angebots	i. d. R. einmal im Jahr

Modultyp	Wahlpflichtmodul
Titel	Stellar Structure and Evolution
Sigle	PHY-MV-T106
Qualifikationsziele	Nach erfolgreichem Abschluss des Moduls können die Studierenden den physikalischen Aufbau von Sternen erklären, zentrale Prozesse der Sternentwicklung analysieren, Sternmodelle interpretieren sowie Entwicklungsstadien unterschiedlicher Sterntypen vergleichen und bewerten.
Inhalte	Dies ist eine Vorlesung der theoretischen Astrophysik. Es wird beschrieben, welche Physik dem Sternaufbau und der Sternentwicklung zugrunde liegt. Es werden die physikalischen Prozesse im Sterninneren und Eigenschaften der Sternmaterie behandelt. Weiterhin wird auf die Berechnung von Sternmodellen eingegangen und auf typische Ergebnisse. Es wird auf die Entwicklung von der Vorhauptreihe bis zu den Endstadien von Sternen verschiedener Massen eingegangen. Es werden die Eigenschaften und die Entwicklungen von normalen und kompakten Sterntypen beschrieben.
Lehr- und Lernformen	• Stellar Structure and Evolution (V): 3 SWS • Exercises in Stellar Structure and Evolution (Ü): 1 SWS
Unterrichtssprache	Englisch
Voraussetzungen für die Teilnahme	Verbindlich: Keine Empfohlen: Keine
Modulabschluss	Voraussetzungen zur Modulprüfung: Keine Art der Modulprüfung: Klausur oder mündliche Prüfung (benotet) Prüfungssprache: Englisch Abweichungen werden vor Beginn der Lehrveranstaltung bekannt gegeben.
Arbeitsaufwand in den einzelnen Modulteilern	• Stellar Structure and Evolution (V): 5 LP • Exercises in Stellar Structure and Evolution (Ü): 1 LP
Gesamtarbeitsaufwand des Moduls	6 LP
Dauer	Ein Semester
Häufigkeit des Angebots	Jährlich im Wintersemester

Modultyp	Wahlpflichtmodul
Titel	The Interstellar Medium and Star Formation
Sigle	PHY-MV-T107
Qualifikationsziele	Nach erfolgreichem Abschluss des Moduls können die Studierenden die physikalischen Eigenschaften des interstellaren Mediums erläutern, zentrale Prozesse der Sternentstehung analysieren, hydrodynamische und magnetohydrodynamische Gleichungen anwenden sowie theoretische Modelle mit beobachtungsbasierten Ergebnissen vergleichen.
Inhalte	• Phasen und physikalische Eigenschaften des interstellaren Mediums (ISM) • Molekülwolken: Beobachtungen und physikalische Eigenschaften • Bedingungen der Sternentstehung (Jeans-Kriterium, Bonnor-Ebert-Kugeln) • Turbulenz und Fragmentierung in Sternentstehungsregionen • Initiale Massenfunktion (IMF): Beobachtungen und theoretische Ansätze • Gravitationskollapsmodelle (Larson-Penston, Shu) • Magnetfelder in der Sternentstehung (Masse-zu-Fluss-Verhältnis, ambipolare Diffusion) • Beobachtungsmethoden für Magnetfelder (Polarisation, Zeeman-Effekt, Rotationsmaß) • Scheibenbildung und Jet-Startprozesse beim Kollaps • Beobachtungen protostellarer Jets • Entstehung massereicher Sterne • Rückkopplungsprozesse (HII-Regionen, Supernovae, getriggerte Sternentstehung) • Protostellare Entwicklung und Evolutionsklassen • Entwicklung protoplanetarer Scheiben • Planetenentstehungsmodelle (Gravitationsinstabilität, Kernakkretion)
Lehr- und Lernformen	• The Interstellar Medium and Star Formation (V): 3 SWS • Exercises in the Interstellar Medium and Star Formation (Ü): 1 SWS
Unterrichtssprache	Englisch oder Deutsch
Voraussetzungen für die Teilnahme	Verbindlich: Keine Empfohlen: Einführung in die Astrophysik I und II (B.Sc.)
Modulabschluss	Voraussetzungen zur Modulprüfung: Keine Art der Modulprüfung: Klausur oder mündliche Prüfung (benotet) Prüfungssprache: Englisch Abweichungen werden vor Beginn der Lehrveranstaltung bekannt gegeben.
Arbeitsaufwand in den einzelnen Modulteilern	• The Interstellar Medium and Star Formation (V): 5 LP • Exercises in the Interstellar Medium and Star Formation (Ü): 1 LP
Gesamtarbeitsaufwand des Moduls	6 LP
Dauer	Ein Semester
Häufigkeit des Angebots	i. d. R. alle zwei Jahre im Wintersemester

Modultyp	Wahlpflichtmodul
Titel	Theory and Application of PHOENIX
Sigle	PHY-MV-T108
Qualifikationsziele	Nach erfolgreichem Abschluss des Moduls können die Studierenden die Struktur und Funktionsweise des Simulationscodes PHOENIX erläutern, zentrale Algorithmen und Module anwenden, astrophysikalische Simulationsrechnungen durchführen sowie Simulationsergebnisse kritisch analysieren und interpretieren.
Inhalte	Es werden die verschiedenen Module von PHOENIX diskutiert und besprochen. Es werden praktische Erfahrungen bei der Anwendung von PHOENIX diskutiert.
Lehr- und Lernformen	Theory and Application of PHOENIX (V): 2 SWS
Unterrichtssprache	Englisch
Voraussetzungen für die Teilnahme	Verbindlich: Kenntnisse in Fortran90 und MPI, nachgewiesene Grundkenntnisse in PHOENIX Empfohlen: Einführung in die Astronomie I und II, Computational Astrophysics, Stellar and Planetary Atmospheres
Modulabschluss	Voraussetzungen zur Modulprüfung: aktive Teilnahme Art der Modulprüfung: Mündliche Prüfung (benotet) Prüfungssprache: Englisch oder Deutsch Abweichungen werden vor Beginn der Lehrveranstaltung bekannt gegeben.
Arbeitsaufwand in den einzelnen Modulteilern	Theory and Application of PHOENIX (V): 3 LP
Gesamtarbeitsaufwand des Moduls	3 LP
Dauer	Ein Semester
Häufigkeit des Angebots	Jedes Semester

Modultyp	Wahlpflichtmodul
Titel	Accelerator Physics I
Sigle	PHY-MV-E201
Qualifikationsziele	Nach erfolgreichem Abschluss des Moduls können die Studierenden die grundlegenden Prinzipien der Beschleunigerphysik erläutern, einfache Beschleunigeranlagen konzipieren, zentrale Komponenten und Strahloptiksysteme auslegen sowie grundlegende Strahldynamikprozesse analysieren und berechnen.
Inhalte	• Überblick über Beschleunigertypen: elektrostatische Beschleuniger und Induktionsbeschleuniger, DTL, RFQ, Alvarez, Linac, Zyklotron, Synchrotron, Mikrotron • Bauelemente von Beschleunigern: Teilchenquellen, Hochfrequenzsysteme und Beschleunigungsresonatoren, Magnete, Vakuumsysteme • Lineare Strahloptik: Bewegungsgleichungen, Matrixformalismus, Strahlparameter, Phasenraumdarstellung • Kreisbeschleuniger: periodische Magnetstrukturen, transversale und longitudinale Strahldynamik • Besichtigung von Beschleunigern auf dem DESY-Gelände (z. B. FLASH, PETRA III, HERA) zur Veranschaulichung und Vertiefung des Lernstoffes
Lehr- und Lernformen	• Accelerator Physics I (V): 2 SWS • Exercises in Accelerator Physics I (Ü): 2 SWS
Unterrichtssprache	Englisch
Voraussetzungen für die Teilnahme	Verbindlich: Keine Empfohlen: Keine
Modulabschluss	Voraussetzungen zur Modulprüfung: Erfolgreiche Bearbeitung der Übungsaufgaben Art der Modulprüfung: Mündliche Prüfung (benotet) Prüfungssprache: Englisch oder Deutsch Abweichungen werden vor Beginn der Lehrveranstaltung bekannt gegeben.
Arbeitsaufwand in den einzelnen Modulteilern	• Accelerator Physics I (V): 3 LP • Exercises in Accelerator Physics I (Ü): 2 LP
Gesamtarbeitsaufwand des Moduls	5 LP
Dauer	Ein Semester
Häufigkeit des Angebots	Jährlich im Wintersemester

Modultyp	Wahlpflichtmodul
Titel	Accelerator Physics II
Sigle	PHY-MV-E202
Qualifikationsziele	Nach erfolgreichem Abschluss des Moduls können die Studierenden fortgeschrittene Konzepte der Beschleunigerphysik erläutern, zentrale Effekte zur Begrenzung von Strahlqualität, Intensität und Luminosität analysieren, moderne Beschleunigerkonzepte bewerten sowie Auslegungs- und Optimierungsstrategien für Synchrotronstrahlungsquellen, Kollider und Freie-Elektronen-Laser anwenden.
Inhalte	Diese Veranstaltung ist eine Fortführung und Vertiefung der einführenden Vorlesung „Beschleunigerphysik I“. Ein Einstieg ohne diese Einführung gehört zu haben ist prinzipiell möglich, erfordert aber die eigenständige Einarbeitung in den Matrixformalismus zur Beschreibung der linearen Strahl-optik anhand der Twiss-Parameter. Dies sollte mit Hilfe vorhandener sehr guter Lehrbücher problemlos möglich sein. Inhalt: • Synchrotronstrahlung und Strahlungsgleichgewicht • Synchrotronstrahlungsquellen • Raumladungseffekte • Luminosität und Kollider • Phasenraumkühlung (Stochastisches Kühlen, Elektronenkühlen) • Freie-Elektronen-Laser
Lehr- und Lernformen	• Accelerator Physics II (V): 2 SWS • Exercises in Accelerator Physics II (Ü): 2 SWS
Unterrichtssprache	Englisch
Voraussetzungen für die Teilnahme	Verbindlich: Keine Empfohlen: Accelerator Physics I
Modulabschluss	Voraussetzungen zur Modulprüfung: Erfolgreiche Bearbeitung der Übungsaufgaben Art der Modulprüfung: Mündliche Prüfung (benotet) Prüfungssprache: Englisch oder Deutsch Abweichungen werden vor Beginn der Lehrveranstaltung bekannt gegeben.
Arbeitsaufwand in den einzelnen Modulteilern	• Accelerator Physics II (V): 3 LP • Exercises in Accelerator Physics II (Ü): 2 LP
Gesamtarbeitsaufwand des Moduls	5 LP
Dauer	Ein Semester
Häufigkeit des Angebots	Jährlich im Sommersemester

Modultyp	Wahlpflichtmodul
Titel	Advanced Particle Physics
Sigle	PHY-MV-E203
Qualifikationsziele	Nach erfolgreichem Abschluss des Moduls können die Studierenden grundlegende Konzepte der Teilchenphysik erläutern, relevante physikalische Größen wie Wirkungsquerschnitte berechnen sowie den Zusammenhang zwischen theoretischen Modellen und experimentellen Messungen analysieren und bewerten.
Inhalte	• Grundlagen der relativistischen Quantenmechanik (Dirac-Theorie) • Symmetrien und Erhaltungssätze in der Teilchenphysik • Feynman-Diagramme und perturbative Methoden • Eichtheorie des Elektromagnetismus • Starke Wechselwirkung und Quantenchromodynamik • Elektroschwache Vereinigung und Brout-Englert-Higgs-Mechanismus • Experimentelle Grundlagen der Teilchenphysik • Zentrale Entdeckungen der Elementarteilchenphysik • Entdeckung des Higgs-Bosons am Large Hadron Collider (CERN)
Lehr- und Lernformen	• Advanced Particle Physics (V): 4 SWS • Exercises in Advanced Particle Physics (Ü): 2 SWS
Unterrichtssprache	Englisch
Voraussetzungen für die Teilnahme	Verbindlich: Keine Empfohlen: Physik V (oder ein gleichwertiger Bachelorstudiengang in Kern- und Teilchenphysik, insbesondere mit Grundkenntnissen über die Teilchen und Wechselwirkungen im Standardmodell sowie über Teilchendetektoren in der Hochenergiephysik)
Modulabschluss	Voraussetzungen zur Modulprüfung: Keine Art der Modulprüfung: Klausur oder mündliche Prüfung (benotet) Prüfungssprache: Englisch oder Deutsch Abweichungen werden vor Beginn der Lehrveranstaltung bekannt gegeben.
Arbeitsaufwand in den einzelnen Modulteilern	• Advanced Particle Physics (V): 6 LP • Exercises in Advanced Particle Physics (Ü): 2 LP
Gesamtarbeitsaufwand des Moduls	8 LP
Dauer	Ein Semester
Häufigkeit des Angebots	Jährlich im Wintersemester

Modultyp	Wahlpflichtmodul
Titel	Excursion to European Accelerator Labs
Sigle	PHY-MV-E204
Qualifikationsziele	Nach erfolgreichem Abschluss des Moduls können die Studierenden unterschiedliche Typen moderner Beschleunigeranlagen systematisch vergleichen, deren Funktionsprinzipien erläutern und typische Einsatzgebiete einordnen. Sie sind in der Lage, die technischen und betrieblichen Besonderheiten realer Großforschungsanlagen zu analysieren und die gewonnenen Eindrücke in einen wissenschaftlichen Kontext einzuordnen.
Inhalte	• Exkursion zu europäischen Beschleunigerlabors (CERN, PSI, GSI) • Führungen durch Ionenbeschleuniger und Ionenquellen • Linearbeschleuniger und Speicherringe • Synchrotronstrahlungsquellen und Neutroneneinrichtungen • Zyklotrone und Vorbeschleunigersysteme • Mikrotron-Beschleunigeranlagen • Infrastruktur für Hochenergie-Kollider • Großbeschleunigerkomplexe und Experimentierhallen
Lehr- und Lernformen	4-tägige Exkursion inkl. Führungen: 4 SWS
Unterrichtssprache	Englisch oder Deutsch
Voraussetzungen für die Teilnahme	Verbindlich: Erfolgreicher Abschluss von mindestens einem der beiden Kurse über Beschleunigerphysik (Beschleunigerphysik I, Beschleunigerphysik II) Empfohlen: Umfassende Kenntnisse in Beschleunigerphysik, die – teilweise aufbauend auf der Einführungsveranstaltung „Beschleunigerphysik I“ – durch Besuch der Veranstaltung „Beschleunigerphysik II“ erworben werden können.
Modulabschluss	Voraussetzungen zur Modulprüfung: Keine Art der Modulprüfung: Klausur oder mündliche Prüfung (benotet) Prüfungssprache: Englisch oder Deutsch Abweichungen werden vor Beginn der Lehrveranstaltung bekannt gegeben.
Arbeitsaufwand in den einzelnen Modulteilern	4-tägige Exkursion inkl. Führungen: 6 LP
Gesamtarbeitsaufwand des Moduls	6 LP
Dauer	Ein Semester
Häufigkeit des Angebots	Jährlich im Sommersemester

Modultyp	Wahlpflichtmodul
Titel	Experimental Astroparticle Physics
Sigle	PHY-MV-E205
Qualifikationsziele	Nach erfolgreichem Abschluss des Moduls sind die Studierenden fähig, konkrete Experimente und deren Messungen in einen Zusammenhang zu setzen. Sie sind in der Lage, kritisch zu hinterfragen, welche Interpretation der Messergebnisse angebracht ist. Sie können nachvollziehen, wie sich aus einer physikalischen Fragestellung im Bereich der Astroteilchenphysik ein Mess- bzw. Beobachtungskonzept ableitet. Die Studierenden erlernen, aktuelle Forschungsergebnisse im gemeinsamen Diskurs im Rahmen von Seminarvorträgen zu erarbeiten.
Inhalte	Astroteilchenphysik mit Schwerpunkten Neutrinophysik (Neutrinonachweis, Neutrinoerzeugung, Neutrinooszillation), kosmische Beschleuniger (Erzeugung, Propagation und Nachweis kosmischer Strahlung. Dazu wechselnde aktuelle Themen aus den relevanten Gebieten der Astroteilchenphysik (dunkle Materie, Kosmologie etc.).
Lehr- und Lernformen	• Experimental Astroparticle Physics (V): 4 SWS • Exercises in Experimental Astroparticle Physics (Ü): 2 SWS
Unterrichtssprache	Englisch
Voraussetzungen für die Teilnahme	Verbindlich: Keine Empfohlen: Astrophysik
Modulabschluss	Voraussetzungen zur Modulprüfung: Vortrag Art der Modulprüfung: Mündliche Prüfung (benotet) Prüfungssprache: Englisch Abweichungen werden vor Beginn der Lehrveranstaltung bekannt gegeben.
Arbeitsaufwand in den einzelnen Modulteilern	• Experimental Astroparticle Physics (V): 6 LP • Exercises in Experimental Astroparticle physics (Ü): 2 LP
Gesamtarbeitsaufwand des Moduls	8 LP
Dauer	Ein Semester
Häufigkeit des Angebots	Jährlich im Wintersemester

Modultyp	Wahlpflichtmodul
Titel	Experiments on Physics beyond the Standard Model
Sigle	PHY-MV-E206
Qualifikationsziele	Nach erfolgreichem Abschluss des Moduls können die Studierenden die Motivation und Grenzen des Standardmodells erläutern, zentrale theoretische Konzepte der Physik jenseits des Standardmodells zusammenfassen sowie experimentelle Suchstrategien und aktuelle Resultate kritisch einordnen.
Inhalte	• Motivation für Physik jenseits des Standardmodells (BSM) • Limitationen des Standardmodells • Theoretische Ansätze und Modelle jenseits des Standardmodells • Experimentelle Suchen nach BSM-Effekten • Ergebnisse und aktueller Status der BSM-Experimente
Lehr- und Lernformen	• Experiments on Physics beyond the Standard Model (V): 3 SWS • Exercises in Experiments on Physics beyond the Standard Model (Ü): 1 SWS
Unterrichtssprache	Englisch oder Deutsch
Voraussetzungen für die Teilnahme	Verbindlich: Keine Empfohlen: Advanced Particle Physics
Modulabschluss	Voraussetzungen zur Modulprüfung: Keine Art der Modulprüfung: Klausur oder mündliche Prüfung (benotet) Prüfungssprache: Englisch oder Deutsch Abweichungen werden vor Beginn der Lehrveranstaltung bekannt gegeben.
Arbeitsaufwand in den einzelnen Modulteilern	• Experiments on Physics beyond the Standard Model (V): 5 LP • Exercises in Experiments on Physics beyond the Standard Model (Ü): 1 LP
Gesamtarbeitsaufwand des Moduls	6 LP
Dauer	Ein Semester
Häufigkeit des Angebots	Jährlich im Sommersemester

Modultyp	Wahlpflichtmodul
Titel	Instrumentation and Analysis Methods
Sigle	PHY-MV-E207
Qualifikationsziele	Am Ende des Kurses sind die Studierenden mit modernen Detektionsmethoden vertraut, die in der Teilchenphysik, Photon-Science, Medizin und inneren Sicherheit eingesetzt werden. Sie erwerben Grundkenntnisse in C++- und ROOT-Programmierung. Sie sind mit den folgenden Konzepten vertraut: Messungen der Ionisierung, Positions-, Energie- und Impulsbestimmung von Teilchen sowie Teilchenidentifikation und Zeitmessungen. Sie erwerben Kenntnisse in der Datenanalyse und statistischen Datenverarbeitung (Fehlerberechnung, Anpassungsverfahren, Entfaltung, Berechnung der Ausschlussgrenze), die in allen Bereichen der experimentellen Physik relevant sind.
Inhalte	• Grundlagen der Statistik und Datenanalyse in der experimentellen Physik • Monte-Carlo-Simulationen und numerische Integrationsmethoden • Minimierungsverfahren und statistische Dateninterpretation • Instrumentierungstechniken zur Teilchen- und Photonendetektion • Wechselwirkung von Teilchen mit Materie • Szintillationsdetektoren und Flugzeitmesssysteme • Prinzipien von Gasdetektoren • Siliziumdetektoren für geladene Teilchen und Photonen • Kalorimetrie und Detektoren zur Teilchenidentifikation • Großskalige Detektorsysteme (z. B. Kollisions-Experimente) • Detektoren für Photon Science (z. B. XFEL) • Technologien zur Dunkle-Materie- und Gravitationswellendetektion • Rechnergestützte Übungen zur Datenanalyse und Detektorsimulation • Einführung in C++ und ROOT für die experimentelle Datenanalyse
Lehr- und Lernformen	• Instrumentation and Analysis Methods (V): 4 SWS • Exercises in Instrumentation and Analysis Methods (Ü): 2 SWS
Unterrichtssprache	Englisch
Voraussetzungen für die Teilnahme	Verbindlich: Keine Empfohlen: Keine
Modulabschluss	Voraussetzungen zur Modulprüfung: Keine Art der Modulprüfung: Mündliche Prüfung (benotet) Prüfungssprache: Englisch oder Deutsch Abweichungen werden vor Beginn der Lehrveranstaltung bekannt gegeben.
Arbeitsaufwand in den einzelnen Modulteilern	• Instrumentation and Analysis Methods (V): 6 LP • Exercises in Instrumentation and Analysis Methods (Ü): 2 LP
Gesamtarbeitsaufwand des Moduls	8 LP
Dauer	Ein Semester
Häufigkeit des Angebots	Jährlich im Sommersemester

Modultyp	Wahlpflichtmodul
Titel	Particle Physics and the Large Hadron Collider (LHC): Accelerators, Detectors and Physics
Sigle	PHY-MV-E208
Qualifikationsziele	Nach erfolgreichem Abschluss des Moduls können die Studierenden die physikalischen Grundlagen der Teilchenphysik am LHC erläutern, Aufbau und Funktionsweise von Beschleunigern und Detektoren beschreiben, experimentelle Ergebnisse kritisch analysieren sowie aktuelle Forschungsthemen wie Higgs-Physik und die Suche nach Neuer Physik einordnen.
Inhalte	• Einführung in die Teilchenphysik am LHC • Beschleuniger und der Large Hadron Collider • Grundlagen von Proton-Proton-Kollisionen • Spurdetektoren am LHC • QCD- und elektroschwache Prozesse am LHC • Kalorimetersysteme der LHC-Detektoren • Trigger- und Datennahmesysteme • Physik des Top-Quarks • Suche und Untersuchung des Higgs-Bosons • Suche nach neuer Physik • Suche nach Supersymmetrie • Ausblick
Lehr- und Lernformen	• Particle Physics and the Large Hadron Collider (LHC): Accelerators, Detectors and Physics (V): 4 SWS • Exercises in Particle Physics and the Large Hadron Collider (LHC): Accelerators, Detectors and Physics (Ü): 2 SWS
Unterrichtssprache	Englisch oder Deutsch
Voraussetzungen für die Teilnahme	Verbindlich: Keine Empfohlen: Keine
Modulabschluss	Voraussetzungen zur Modulprüfung: Keine Art der Modulprüfung: Klausur oder mündliche Prüfung (benotet) Prüfungssprache: Englisch oder Deutsch Abweichungen werden vor Beginn der Lehrveranstaltung bekannt gegeben.
Arbeitsaufwand in den einzelnen Modulteilern	• Particle Physics and the Large Hadron Collider (LHC): Accelerators, Detectors and Physics (V): 6 LP • Exercises in Particle Physics and the Large Hadron Collider (LHC): Accelerators, Detectors and Physics (Ü): 2 LP
Gesamtarbeitsaufwand des Moduls	8 LP
Dauer	Ein Semester
Häufigkeit des Angebots	Jährlich im Sommersemester

Modultyp	Wahlpflichtmodul
Titel	Physics and Applications of Laser-Plasma Accelerators: From Free-Electron Lasers to Medical Imaging
Sigle	PHY-MV-E209
Qualifikationsziele	Nach erfolgreichem Abschluss des Moduls können die Studierenden die physikalischen Grundlagen der Plasma-Wakefield-Beschleunigung erläutern, die Entstehung ultrahoher Feldgradienten und kurzer Elektronenbündel analysieren sowie Anwendungen laserbasierter Beschleuniger in Röntgenquellen, Freie-Elektronen-Lasern und der medizinischen Bildgebung bewerten.
Inhalte	- Grundlagen der Laser-Plasma-Beschleunigung - Ultrahohe Feldgradienten und kurze Elektronenbünche - Kompakte Beschleunigerkonzepte und Anwendungen - Laser-plasma-getriebene Röntgenquellen - Kopplung von Laser-Plasma-Beschleunigern an Freie-Elektronen-Laser - Anwendungen im Bereich medizinischer Bildgebung
Lehr- und Lernformen	- Physics and Applications of Laser-Plasma Accelerators: From Free-Electron Lasers to Medical Imaging (V): 4 SWS - Exercises in Physics and Applications of Laser-Plasma Accelerators: From Free-Electron Lasers to Medical Imaging (Ü): 2 SWS
Unterrichtssprache	Englisch oder Deutsch
Voraussetzungen für die Teilnahme	Verbindlich: Keine Empfohlen: Keine
Modulabschluss	Voraussetzungen zur Modulprüfung: Keine Art der Modulprüfung: Klausur oder mündliche Prüfung (benotet) Prüfungssprache: Englisch oder Deutsch Abweichungen werden vor Beginn der Lehrveranstaltung bekannt gegeben.
Arbeitsaufwand in den einzelnen Modulteilern	- Exercises in Physics and Applications of Laser-Plasma Accelerators: From Free-Electron Lasers to Medical Imaging (V): 6 LP - Exercises in Exercises in Physics and Applications of Laser-Plasma Accelerators: From Free-Electron Lasers to Medical Imaging (Ü): 2 LP
Gesamtarbeitsaufwand des Moduls	8 LP
Dauer	Ein Semester
Häufigkeit des Angebots	Jährlich im Sommersemester

Modultyp	Wahlpflichtmodul
Titel	Computer Algebra and Particle Physics
Sigle	PHY-MV-T202
Qualifikationsziele	Nach erfolgreichem Abschluss des Moduls können die Studierenden grundlegende Algorithmen der Computer-Algebra erläutern, Computeralgebrasysteme zur Bearbeitung physikalischer Probleme einsetzen, symbolische Rechnungen durchführen sowie Feynman-Integrale und algebraische Ausdrücke in der theoretischen Teilchenphysik effizient berechnen und analysieren.
Inhalte	• Einführung in Algorithmen der theoretischen Teilchenphysik • Computeralgebrasysteme (Mathematica, Maple, FORM) • Ausdrücke, Muster, Ersetzungen und Funktionen • Techniken zur Berechnung von Feynman-Integralen • Praktische Übungen mit Computeralgebra-Software
Lehr- und Lernformen	• Computer Algebra and Particle Physics (V): 3 SWS • Exercises in Computer Algebra and Particle Physics (Ü): 1 SWS
Unterrichtssprache	Englisch
Voraussetzungen für die Teilnahme	Verbindlich: Keine Empfohlen: Quantenphysik
Modulabschluss	Voraussetzungen zur Modulprüfung: Keine Art der Modulprüfung: Klausur oder mündliche Prüfung (benotet) Prüfungssprache: Englisch Abweichungen werden vor Beginn der Lehrveranstaltung bekannt gegeben.
Arbeitsaufwand in den einzelnen Modulteilern	• Computer Algebra and Particle Physics (V): 5 LP • Exercises in Computer Algebra and Particle Physics (Ü): 1 LP
Gesamtarbeitsaufwand des Moduls	6 LP
Dauer	Ein Semester
Häufigkeit des Angebots	i. d. R. alle zwei Jahre im Wintersemester

Modultyp	Wahlpflichtmodul
Titel	Group Theory for Physicists
Sigle	PHY-MV-T203
Qualifikationsziele	Nach erfolgreichem Abschluss des Moduls sind die Studierenden in der Lage, die grundlegenden Konzepte der Gruppentheorie zu erklären und auf physikalische Symmetrieprobleme anzuwenden. Sie können wichtige kontinuierliche und diskrete Symmetriegruppen, deren Darstellungen und Invarianten analysieren sowie die Bedeutung von Gruppenstrukturen für Teilchenphysik, Relativitätstheorie und Quantenmechanik und Stringtheorie einordnen.
Inhalte	• Grundlagen der Gruppentheorie • Symmetriegruppen und Klassen • Gruppendarstellungen • Rotationsgruppen und $SU(n)$ • Euklidische Gruppen • Lorentz- und Poincaré-Gruppen • Little Group • Anwendungen in der Physik
Lehr- und Lernformen	Group Theory for Physicists (V): 2 SWS
Unterrichtssprache	Englisch
Voraussetzungen für die Teilnahme	Verbindlich: Keine Empfohlen: Vorlesungen Theoretische Physik I und II (B.Sc.), Advanced Particle Physics
Modulabschluss	Voraussetzungen zur Modulprüfung: Keine Art der Modulprüfung: Mündliche Prüfung (benotet) Prüfungssprache: Englisch Abweichungen werden vor Beginn der Lehrveranstaltung bekannt gegeben.
Arbeitsaufwand in den einzelnen Modulteilern	Theory for Physicists (V): 3 LP
Gesamtarbeitsaufwand des Moduls	3 LP
Dauer	Ein Semester
Häufigkeit des Angebots	i. d. R. alle zwei Jahre im Wintersemester

Modultyp	Wahlpflichtmodul
Titel	Introduction to Conformal Field Theory
Sigle	PHY-MV-T204
Qualifikationsziele	Die Studierenden können nach erfolgreichem Besuch der Vorlesung weiterführender Fachliteratur und neuere Forschungsarbeiten auf dem Gebiet der konformen Quantenfeldtheorie wissenschaftlich lesen und verstehen.
Inhalte	Der Kurs bietet eine Einführung in konforme Quantenfeldtheorien (CFTs), ihre Anwendungen und Methoden. Behandelte Themen: Konforme Symmetrie, Korrelationsfunktionen, Operatorproduktentwicklungen, 2-dimensionale CFT (Virasoro-algebra und deren Darstellungen, minimale Modelle) und konformer Bootstrap in Dimension $d > 2$.
Lehr- und Lernformen	• Introduction to Conformal Field Theory (V): 3 SWS • Exercises in Introduction to Conformal Field Theory (Ü): 1 SWS
Unterrichtssprache	Englisch
Voraussetzungen für die Teilnahme	Verbindlich: Keine Empfohlen: Theoretical Physics 1–3, Quantenfeldtheorie I
Modulabschluss	Voraussetzungen zur Modulprüfung: Keine Art der Modulprüfung: Klausur oder mündliche Prüfung (benotet) Prüfungssprache: Englisch Abweichungen werden vor Beginn der Lehrveranstaltung bekannt gegeben.
Arbeitsaufwand in den einzelnen Modulteilern	• Introduction to Conformal Field Theory (V): 5 LP • Exercises in Introduction to Conformal Field Theory (Ü): 1 LP
Gesamtarbeitsaufwand des Moduls	6 LP
Dauer	Ein Semester
Häufigkeit des Angebots	i. d. R. alle zwei Jahre im Wintersemester

Modultyp	Wahlpflichtmodul
Titel	Introduction to String Theory
Sigle	PHY-MV-T205
Qualifikationsziele	Die Studierenden können nach erfolgreichem Besuch der Vorlesung weiterführende Fachliteratur und neuere Forschungsarbeiten auf dem Gebiet der Stringtheorie wissenschaftlich lesen und verstehen.
Inhalte	Dieser Kurs behandelt die Grundlagen der String- und Superstringtheorie in flachen und gekrümmten Hintergründen. Die Themen umfassen: Klassische Strings, Quantisierung, Relation mit Eichtheorie und Gravitation, Supersymmetrie, Superstringtheorien sowie ausgewählte Kapitel der 2-dimensionalen konformen Quantenfeldtheorie, Calabi-Yau-Kompaktifizierungen und die AdS/CFT-Korrespondenz.
Lehr- und Lernformen	• Introduction to String Theory (V): 3 SWS • Exercises in Introduction to String Theory (Ü): 1 SWS
Unterrichtssprache	Englisch
Voraussetzungen für die Teilnahme	Verbindlich: Keine Empfohlen: Keine
Modulabschluss	Voraussetzungen zur Modulprüfung: Keine Art der Modulprüfung: Klausur oder mündliche Prüfung (benotet) Prüfungssprache: Englisch Abweichungen werden vor Beginn der Lehrveranstaltung bekannt gegeben.
Arbeitsaufwand in den einzelnen Modulteilern	• Introduction to String Theory (V): 5 LP • Exercises in Introduction to String Theory (Ü): 1 LP
Gesamtarbeitsaufwand des Moduls	6 LP
Dauer	Ein Semester
Häufigkeit des Angebots	Jährlich im Sommersemester

Modultyp	Wahlpflichtmodul
Titel	Introduction to Supersymmetry and Supergravity
Sigle	PHY-MV-T206
Qualifikationsziele	Nach erfolgreichem Abschluss des Moduls kennen die Studierenden die mathematische Struktur von Supersymmetrie. Sie lernen die Supersymmetrische Lie Algebra anzuwenden, rechnen im Superraum und können supersymmetrische Transformationen und feldtheoretische Berechnungen in Supergravity durchführen und kennen die GUT Theorie.
Inhalte	• Einführung in die Prinzipien der Supersymmetrie und Supergravitation • Supersymmetrie-Algebra und ihre Darstellungstheorie • Supersymmetrische Yang-Mills-Theorien • Das supersymmetrische Standardmodell • Erweiterte Supersymmetrie und Seiberg-Witten-Theorie • Supergravitation und ihre Kopplung an Materie. • Erweiterte Supergravitäten und ihre geometrischen Eigenschaften • Supersymmetrie und Supergravitation in beliebigen Dimensionen
Lehr- und Lernformen	• Introduction to Supersymmetry and Supergravity (V): 4 SWS • Exercises in Introduction to Supersymmetry and Supergravity (Ü): 2 SWS
Unterrichtssprache	Englisch
Voraussetzungen für die Teilnahme	Verbindlich: Keine Empfohlen: Theoretische Physik I und II (B.Sc.)
Modulabschluss	Voraussetzungen zur Modulprüfung: keine Art der Modulprüfung: Klausur oder mündliche Prüfung (benotet) Prüfungssprache: Englisch Abweichungen werden vor Beginn der Lehrveranstaltung bekannt gegeben.
Arbeitsaufwand in den einzelnen Modulteilern	• Introduction to Supersymmetry and Supergravity (V): 6 LP • Exercises in Introduction to Supersymmetry and Supergravity (Ü): 2 LP
Gesamtarbeitsaufwand des Moduls	8 LP
Dauer	Ein Semester
Häufigkeit des Angebots	Jährlich im Wintersemester

Modultyp	Wahlpflichtmodul
Titel	Phenomenology of Physics beyond the Standard Model
Sigle	PHY-MV-T207
Qualifikationsziele	Nach erfolgreichem Abschluss des Moduls sind die Studierenden in der Lage, offene Fragestellungen des Standardmodells zu erläutern und zentrale Erweiterungen der Theorie einzuordnen. Sie können phänomenologische Modelle und effektive Theorien analysieren, relevante Observablen für Beschleuniger- und Nicht-Beschleunigerexperimente identifizieren und experimentelle Signaturen von Physik jenseits des Standardmodells kritisch bewerten.
Inhalte	Phänomenologie an Beschleunigern für verschiedene Modelle der Physik jenseits des Standardmodells, Supersymmetrie, Extra Dimension Modelle, Modelle mit extra Eichbosonen und erweitertem Higgs Sektor, Yang-Mills-Theorien, QCD-Phänomenologie, Renormierung, Verknüpfung von Kopplungen, Electroweak-Wechselwirkungen, Higgs-Mechanismus, Higgs-Physik, LHC-Phänomenologie, Monte-Carlo-Werkzeuge, Flavour-Physik, CKM-Matrix, CP-Verletzung, Neutrinophysik und Oszillationen, Anomalien, B-L, starke CP, Nachteile des Standardmodells.
Lehr- und Lernformen	- Phenomenology of Physics beyond the Standard Model (V): 4 SWS - Exercises in Phenomenology of Physics beyond the Standard Model (Ü): 2 SWS
Unterrichtssprache	Englisch
Voraussetzungen für die Teilnahme	Verbindlich: Keine Empfohlen: Quantenmechanik (B.Sc.), Kern- und Teilchenphysik (B.Sc.), Quantum Field Theory I, Advanced Particle Physics or Physics of the Standard Model
Modulabschluss	Voraussetzungen zur Modulprüfung: Keine Art der Modulprüfung: Klausur oder mündliche Prüfung (benotet) Prüfungssprache: Englisch Abweichungen werden vor Beginn der Lehrveranstaltung bekannt gegeben.
Arbeitsaufwand in den einzelnen Modulteilern	- Phenomenology of Physics beyond the Standard Model (V): 6 LP - Exercises in Phenomenology of Physics beyond the Standard Model (Ü): 2 LP
Gesamtarbeitsaufwand des Moduls	8 LP
Dauer	Ein Semester
Häufigkeit des Angebots	Jährlich im Wintersemester

Modultyp	Wahlpflichtmodul
Titel	Physics of the Standard Model
Sigle	PHY-MV-T208
Qualifikationsziele	Nach erfolgreichem Abschluss des Moduls kennen die Studierenden die Struktur des Standardmodells (QCD und elektroschwacher Sektor, Higgs Mechanismus). Sie haben Quantenfeldtheorie, Gruppentheorie und Eichsymmetrien angewendet, lernen die störungstheoretischen Ansätze, kennen die Grundlagen von pp- und ei-basierten Beschleunigerexperimenten (LHC, Leptonbeschleuniger) und können sowohl in der theoretischen wie auch experimentellen Physik Studien anfertigen.
Inhalte	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.
Lehr- und Lernformen	- Physics of the Standard Model (V): 4 SWS - Exercises in Physics of the Standard Model (Ü): 2 SWS
Unterrichtssprache	Englisch
Voraussetzungen für die Teilnahme	Verbindlich: Keine Empfohlen: Quantenmechanik (B.Sc.), Kern- und Teilchenphysik (B.Sc.), Quantum Field Theory I, Advanced Particle Physics
Modulabschluss	Voraussetzungen zur Modulprüfung: Keine Art der Modulprüfung: Klausur oder mündliche Prüfung (benotet) Prüfungssprache: Englisch Abweichungen werden vor Beginn der Lehrveranstaltung bekannt gegeben.
Arbeitsaufwand in den einzelnen Modulteilern	- Physics of the Standard Model (V): 6 LP - Exercises in Physics of the Standard Model (Ü): 2 LP
Gesamtarbeitsaufwand des Moduls	8 LP
Dauer	Ein Semester
Häufigkeit des Angebots	Jährlich im Sommersemester

Modultyp	Wahlpflichtmodul
Titel	Quantum Field Theory I
Sigle	PHY-MV-T209
Qualifikationsziele	Nach erfolgreichem Abschluss des Moduls können die Studierenden grundlegende Konzepte der Quantenfeldtheorie erläutern, kanonische und pfadintegralbasierte Quantisierungsverfahren anwenden, Symmetrien und Erhaltungsgrößen identifizieren, Feynman-Regeln ableiten sowie Streuprozesse und Korrelationsfunktionen mithilfe von Feynman-Diagrammen berechnen und interpretieren.
Inhalte	• Kanonische Quantisierung bosonischer und fermionischer Felder • Pfadintegralquantisierung • Symmetrien in der Quantenfeldtheorie • Funktionalmethoden und erzeugendes Funktional • Korrelationsfunktionen • Störungstheorie und Feynman-Diagramme • Renormierungsverfahren (Überblick) • Nicht-abelsche Eichtheorien (Überblick) • Übungsbasierte Anwendungen
Lehr- und Lernformen	• Quantum Field Theory I (V): 4 SWS • Exercises in Quantum Field Theory I (Ü): 2 SWS
Unterrichtssprache	Englisch oder Deutsch
Voraussetzungen für die Teilnahme	Verbindlich: Keine Empfohlen: Theoretische Physik I und II (B.Sc.)
Modulabschluss	Voraussetzungen zur Modulprüfung: Keine Art der Modulprüfung: Klausur oder mündliche Prüfung (benotet) Prüfungssprache: Englisch oder Deutsch Abweichungen werden vor Beginn der Lehrveranstaltung bekannt gegeben.
Arbeitsaufwand in den einzelnen Modulteilern	• Quantum Field Theory I (V): 6 LP • Exercises in Quantum Field Theory I (Ü): 2 LP
Gesamtarbeitsaufwand des Moduls	8 LP
Dauer	Ein Semester
Häufigkeit des Angebots	Jährlich im Wintersemester

Modultyp	Wahlpflichtmodul
Titel	Quantum Field Theory II
Sigle	PHY-MV-T210
Qualifikationsziele	Nach erfolgreichem Abschluss des Moduls können die Studierenden fortgeschrittene Konzepte der Quantenfeldtheorie erläutern, Renormierungstechniken und Renormierungsgruppen anwenden, nicht-abelsche Eichtheorien kovariant quantisieren, spontane Symmetriebrechung analysieren sowie physikalische Konsequenzen wie asymptotische Freiheit und Higgs-Mechanismus fachlich einordnen.
Inhalte	• Renormierungstechniken in der Quantenfeldtheorie • Nicht-abelsche Eichtheorien • Kovarianten Quantisierungsmethoden • Spontane Symmetriebrechung • Topologische Lösungen in der Quantenfeldtheorie • Übungsbasierte Anwendungen
Lehr- und Lernformen	• Quantum Field Theory II (V): 4 SWS • Exercises in Quantum Field Theory II (Ü): 2 SWS
Unterrichtssprache	Englisch oder Deutsch
Voraussetzungen für die Teilnahme	Verbindlich: Keine Empfohlen: Theoretische Physik I (B.Sc.) und II (B.Sc.), Quantenfeldtheorie I
Modulabschluss	Voraussetzungen zur Modulprüfung: Keine Art der Modulprüfung: Klausur oder mündliche Prüfung (benotet) Prüfungssprache: Englisch oder Deutsch Abweichungen werden vor Beginn der Lehrveranstaltung bekannt gegeben.
Arbeitsaufwand in den einzelnen Modulteilern	• Quantum Field Theory II (V): 6 LP • Exercises in Quantum Field Theory II (Ü): 2 LP
Gesamtarbeitsaufwand des Moduls	8 LP
Dauer	Ein Semester
Häufigkeit des Angebots	Jährlich im Sommersemester

Modultyp	Wahlpflichtmodul
Titel	Quantum Chromodynamics (Advanced Topics in Particle Physics)
Sigle	PHY-MV-T211
Qualifikationsziele	Nach erfolgreichem Abschluss des Moduls kennen die Teilnehmer die Hauptmerkmale der Quantenchromodynamik als Quantenfeldtheorie, insbesondere die Rolle, die Symmetrien und Quantenschleifen spielen. Darüber hinaus können die Teilnehmer die Herausforderungen einer quantitativen Beschreibung der Prozesse bei modernen Particle Collidern, insbesondere des LHC, bewerten.
Inhalte	• Symmetrien der QCD und ihre Folgen • Störungstheorie, Renormalisierung und die laufende Kopplung • Konzepte und Werkzeuge zur Beschreibung der QCD in Experimenten mit hoher Energie.
Lehr- und Lernformen	Quantum Chromodynamics (Advanced Topics in Particle Physics) (V): 2 SWS
Unterrichtssprache	Englisch oder Deutsch
Voraussetzungen für die Teilnahme	Verbindlich: Keine Empfohlen: Grundkenntnisse der Teilchenphysik, Quantenfeldtheorie I
Modulabschluss	Voraussetzungen zur Modulprüfung: Keine Art der Modulprüfung: Klausur oder mündliche Prüfung (benotet) Prüfungssprache: Englisch oder Deutsch Abweichungen werden vor Beginn der Lehrveranstaltung bekannt gegeben.
Arbeitsaufwand in den einzelnen Modulteilern	Quantum Chromodynamics (Advanced Topics in Particle Physics) (V): 3 LP
Gesamtarbeitsaufwand des Moduls	3 LP
Dauer	Ein Semester
Häufigkeit des Angebots	i. d. R. alle zwei Jahre im Wintersemester

Modultyp	Wahlpflichtmodul
Titel	Renormalisation of Spontaneously Broken Gauge Theories and Related Phenomenological Aspects
Sigle	PHY-MV-T212
Qualifikationsziele	Der Kurs dient der Vertiefung des Verständnisses von QFT und der Renormierung von Eich-Theorien und der konsistenten Behandlung von instabilen, massiven Teilchen. Er ist eine wichtige Grundlage für Untersuchungen vom Standard Model, sowie auch von Erweiterungen des Standard Modells, auf Quantum Niveau.
Inhalte	QFT; LSZ Formalismus; Behandlung von instabilen Teilchen in QFT; Komplexes Pol Schema; On-shell-, MSbar- und DRbar Renormierungsschemata; Feld Renormierung instabiler Teilchen; Endliche Wellenfunktions Normierungsfaktoren, Vakuum Erwartungswerte und Tadpole.
Lehr- und Lernformen	Renormalisation of Spontaneously Broken Gauge Theories and Related Phenomenological Aspects (V): 2 SWS
Unterrichtssprache	Englisch
Voraussetzungen für die Teilnahme	Verbindlich: Keine Empfohlen: Vorlesungen Theoretische Physik I und II, Advanced particle physics, empfohlen nach QFT 1
Modulabschluss	Voraussetzungen zur Modulprüfung: Keine Art der Modulprüfung: Mündliche Prüfung (benotet) Prüfungssprache: Englisch Abweichungen werden zu Beginn der Veranstaltung bekannt gegeben.
Arbeitsaufwand in den einzelnen Modulteilern	Renormalisation of Spontaneously Broken Gauge Theories and Related Phenomenological Aspects (V): 3 LP
Gesamtarbeitsaufwand des Moduls	3 LP
Dauer	Ein Semester
Häufigkeit des Angebots	I. d. R. alle 2 Jahre im Sommersemester

Modultyp	Wahlpflichtmodul
Titel	Theoretical Astroparticle Physics and Cosmology
Sigle	PHY-MV-T213
Qualifikationsziele	Nach erfolgreichem Abschluss des Moduls können die Studierenden zentrale Konzepte der theoretischen Astroteilchenphysik und Kosmologie erläutern, physikalische Prozesse im frühen Universum analysieren, Modelle zur Entstehung von Materie, Dunkler Materie und kosmischer Strahlung anwenden sowie eigenständig kleinere Forschungsprojekte vorbereiten und bearbeiten.
Inhalte	• Expandierendes Universum • Thermische Prozesse im frühen Universum • Primordiale Nukleosynthese • Materie-Antimaterie-Asymmetrie (Leptogenese, Baryogenese) • Dunkle Materie • Kosmische Hintergrundstrahlung • Inflation • Geladene und neutrale kosmische Strahlung (Gammastrahlung, Neutrinos) • Grundlagen der Beschleunigung kosmischer Strahlung • Neutrinoastrophysik • Neutrinooszillationen
Lehr- und Lernformen	• Theoretical Astroparticle Physics and Cosmology (V): 4 SWS • Exercises in Theoretical Astroparticle Physics and Cosmology (Ü): 2 SWS
Unterrichtssprache	Englisch oder Deutsch
Voraussetzungen für die Teilnahme	Verbindlich: Keine Empfohlen: Quantenmechanik, Kern- und Teilchenphysik (B.Sc.)
Modulabschluss	Voraussetzungen zur Modulprüfung: Keine Art der Modulprüfung: Klausur oder mündliche Prüfung (benotet) Prüfungssprache: Englisch oder Deutsch Abweichungen werden vor Beginn der Lehrveranstaltung bekannt gegeben.
Arbeitsaufwand in den einzelnen Modulteilern	• Theoretical Astroparticle Physics and Cosmology (V): 6 LP • Exercises in Theoretical Astroparticle Physics and Cosmology (Ü): 2 LP
Gesamtarbeitsaufwand des Moduls	8 LP
Dauer	Ein Semester
Häufigkeit des Angebots	i. d. R. jährlich im Sommersemester

Modultyp	Wahlpflichtmodul
Titel	Theory of General Relativity
Sigle	PHY-MV-T214
Qualifikationsziele	Nach erfolgreichem Abschluss des Moduls können die Studierenden die mathematischen und physikalischen Grundlagen der Allgemeinen Relativitätstheorie erläutern, Einsteinsche Feldgleichungen anwenden, Lösungen wie die Schwarzschild-Metrik analysieren sowie relativistische Effekte in kosmologischen und astrophysikalischen Kontexten interpretieren.
Inhalte	• Relativitätsprinzipien • Spezielle Relativitätstheorie • Grundlagen der Differentialgeometrie • Einstein-Gleichungen • Schwarzschild-Metrik • Experimentelle Tests der Gravitationstheorie • Gravitationswellen • Grundlagen der Kosmologie und Anwendungen
Lehr- und Lernformen	• Theory of General Relativity (V): 4 SWS • Exercises in Theory of General Relativity (Ü): 2 SWS
Unterrichtssprache	Englisch
Voraussetzungen für die Teilnahme	Verbindlich: Keine Empfohlen: klassische Feldtheorie, Quantenmechanik, Kern- und Teilchenphysik (B.Sc.)
Modulabschluss	Voraussetzungen zur Modulprüfung: Keine Art der Modulprüfung: Klausur oder mündliche Prüfung (benotet) Prüfungssprache: Englisch Abweichungen werden vor Beginn der Lehrveranstaltung bekannt gegeben.
Arbeitsaufwand in den einzelnen Modulteilern	• Theory of General Relativity (V): 6 LP • Exercises in Theory of General Relativity (Ü): 2 LP
Gesamtarbeitsaufwand des Moduls	8 LP
Dauer	Ein Semester
Häufigkeit des Angebots	Jährlich im Wintersemester

Modultyp	Wahlpflichtmodul
Titel	Introduction to the Physics of Medical Imaging (Biomedical Physics I)
Sigle	PHY-MV-E301
Qualifikationsziele	Nach erfolgreichem Abschluss des Moduls können die Studierenden die physikalischen Grundlagen moderner medizinischer Bildgebungsverfahren erläutern, Unterschiede und Einsatzgebiete von PET, SPECT, MRI und CT vergleichen, Bildgebungsparameter wie Auflösung und Sensitivität bewerten sowie physikalische Konzepte zur Optimierung diagnostischer Verfahren anwenden.
Inhalte	• Grundlagen der medizinischen Bildgebung und Therapie • Physikalische Grenzen medizinischer Bildgebungstechniken • Räumliche Auflösung und Empfindlichkeit in der Bildgebung • Bildgebung von Tumorgewebe und diagnostische Anwendungen • Aktuelle Entwicklungen in medizinischer Bildgebung und Therapie (Journal Club) • Analyse und Diskussion wissenschaftlicher Publikationen
Lehr- und Lernformen	• Introduction to the Physics of Medical Imaging (V): 2 SWS • Exercises in Introduction to the Physics of Medical Imaging (Ü): 2 SWS
Unterrichtssprache	Englisch
Voraussetzungen für die Teilnahme	Verbindlich: Keine Empfohlen: Keine
Modulabschluss	Voraussetzungen zur Modulprüfung: Keine Art der Modulprüfung: Klausur oder mündliche Prüfung (benotet) Prüfungssprache: Englisch Abweichungen werden vor Beginn der Lehrveranstaltung bekannt gegeben.
Arbeitsaufwand in den einzelnen Modulteilern	• Introduction to the Physics of Medical Imaging (V): 3 LP • Exercises in Introduction to the Physics of Medical Imaging (Ü): 2 LP
Gesamtarbeitsaufwand des Moduls	Gesamtarbeitsaufwand des Moduls 5 LP
Dauer	Ein Semester
Häufigkeit des Angebots	Jährlich im Wintersemester

Modultyp	Wahlpflichtmodul
Titel	Introduction to Cellular Biophysics (Biomedical Physics II)
Sigle	PHY-MV-E302
Qualifikationsziele	Nach erfolgreichem Abschluss des Moduls können die Studierenden die biophysikalischen Grundlagen von Makromolekülen, Zellen und Geweben erläutern, zentrale Prozesse wie Zellzyklus, Stoffwechsel und Homöostase analysieren, krankheitsrelevante molekulare Veränderungen bewerten sowie experimentelle Bildgebungs- und Detektionsmethoden in einen physiologischen Kontext einordnen.
Inhalte	In diesem Kurs werden wir die Grundlagen der makromolekularen, zellulären und Gewebestruktur und -architektur aus biophysikalischer Sicht behandeln. Wir werden die Grundlagen des Metabolismus und der Homöostase, insbesondere der Regulation des Zellzyklus, behandeln, um die Veränderungen auf molekularer Ebene zu verstehen, welche mit dem Ausbruch der Krankheit verbunden sind. Dieser Kurs zielt darauf ab, die in „Biomedical Physics I“ vorgestellten Bildgebungs- und Detektionswerkzeuge in einen physiologischen Kontext zu stellen. Wir werden auch das Potenzial für kombinierte bildgebende und therapeutische Ansätze diskutieren. Im Journal Club werden diese Themen im Hinblick auf die modernsten Entwicklungen in den Bereichen analysiert. Die Studierenden lernen auch, wie sie eine wissenschaftliche Publikation strukturieren und diskutieren können. Insbesondere werden folgende Themen im Kurs vorgestellt: • Makromolekulare Struktur und Funktion; • Die Architektur der Zelle; • biologische Homöostase; • Der Zellzyklus; • Stoffwechselwege und Regulierung; • Intra- und Interzellularkommunikation; • Therapeutische Liefermittel.
Lehr- und Lernformen	• Introduction to Cellular Biophysics (V): 2 SWS • Journal Club: 2 SWS
Unterrichtssprache	Englisch
Voraussetzungen für die Teilnahme	Verbindlich: Keine Empfohlen: Keine
Modulabschluss	Voraussetzungen zur Modulprüfung: Keine Art der Modulprüfung: Klausur oder mündliche Prüfung (benotet) Prüfungssprache: Englisch Abweichungen werden vor Beginn der Lehrveranstaltung bekannt gegeben.
Arbeitsaufwand in den einzelnen Modulteilern	• Introduction to Cellular Biophysics (V): 3 LP • Journal Club: 2 LP
Gesamtarbeitsaufwand des Moduls	5 LP
Dauer	Ein Semester
Häufigkeit des Angebots	Jährlich im Sommersemester

Modultyp	Wahlpflichtmodul
Titel	Physics of Radiation Therapy I (Biomedical Physics III)
Sigle	PHY-MV-E303
Qualifikationsziele	Nach erfolgreichem Abschluss des Moduls können die Studierenden die physikalischen Grundlagen des Strahlungstransports erläutern, Wechselwirkungen ionisierender Strahlung mit Materie analysieren, Dosisberechnungen für strahlentherapeutische Anwendungen durchführen sowie die Rolle multimodaler Bildgebung in der Bestrahlungsplanung bewerten.
Inhalte	• Wechselwirkungen von Photonen und geladenen Teilchen mit Materie • Strahlungstransport und Monte-Carlo-Methoden • Dosisberechnung in der Strahlentherapie • Grundlagen von CT, PET/SPECT und MRT • Multimodale Bildgebung in der Strahlentherapie • Zielvolumendefinition und Bestrahlungstechniken • Grundlagen der Bestrahlungsplanung
Lehr- und Lernformen	Physics of Radiation Therapy I (V): 2 SWS
Unterrichtssprache	Englisch
Voraussetzungen für die Teilnahme	Verbindlich: Keine Empfohlen: Keine
Modulabschluss	Voraussetzungen zur Modulprüfung: Keine Art der Modulprüfung: Mündliche Prüfung (benotet) Prüfungssprache: Englisch Abweichungen werden vor Beginn der Lehrveranstaltung bekannt gegeben.
Arbeitsaufwand in den einzelnen Modulteilern	Physics of Radiation Therapy I (V): 3 LP
Gesamtarbeitsaufwand des Moduls	3 LP
Dauer	Ein Semester
Häufigkeit des Angebots	Jährlich im Wintersemester

Modultyp	Wahlpflichtmodul
Titel	Physics of Radiation Therapy II (Biomedical Physics IV)
Sigle	PHY-MV-E304
Qualifikationsziele	Nach erfolgreichem Abschluss des Moduls kennen die Studierenden die Grundlagen der Physik der Strahlentherapie. Außerdem haben sie Grundkenntnisse in der physikalischen und biologischen Optimierung eines Bestrahlungsplanes und der Anwendung verschiedener Bestrahlungstechniken und den Behandlungskonzepten für einige Tumorentitäten.
Inhalte	In diesem Modul werden Sie einen Einblick in die grundlegenden Aspekte der Physik in der Strahlentherapie und der mathematischen Modellierung in der Strahlenbiologie gewinnen, mit einem Schwerpunkt in den Bestrahlungstechniken und Therapiekonzepten. Aufbauend auf die Inhalte des Moduls „Biomedical Physics III“, werden wir den aktuellen Stand von Bestrahlungsplanung, Bestrahlungstechniken und Anwendung von multimodaler Bildgebung in der Strahlentherapie, insbesondere von beweglichen Tumoren diskutieren und analysieren. Während einer praktischen Abendsitzung in der Klinik für Strahlentherapie und Radioonkologie werden die Studierende die Möglichkeit haben, die grundlegenden Messdaten für die dosimetrische Charakterisierung eines medizinischen Linearbeschleunigers aufzunehmen und die Ergebnisse zu analysieren. Folgende Aspekte werden hier behandelt: • Bestrahlungstechniken und neue Bestrahlungsmethoden in moderner Strahlentherapie • Optimierungstechniken für die Bestrahlungsplanung • Dosimetrie und Qualitätssicherung in der Strahlentherapie • Behandlung beweglicher Tumore • Grundlagen der Fraktionierung und der fünf “R” der Strahlentherapie
Lehr- und Lernformen	Physics of Radiation Therapy II (V): 2 SWS
Unterrichtssprache	Englisch
Voraussetzungen für die Teilnahme	Verbindlich: Keine Empfohlen: Keine
Modulabschluss	Voraussetzungen zur Modulprüfung: Keine Art der Modulprüfung: Mündliche Prüfung (benotet) Prüfungssprache: Englisch Abweichungen werden vor Beginn der Lehrveranstaltung bekannt gegeben.
Arbeitsaufwand in den einzelnen Modulteilern	Physics of Radiation Therapy II (V): 3 LP
Gesamtarbeitsaufwand des Moduls	3 LP
Dauer	Ein Semester
Häufigkeit des Angebots	Jährlich im Sommersemester

Modultyp	Wahlpflichtmodul
Titel	Artificial Intelligence for Biomedical Imaging
Sigle	PHY-MV-E306
Qualifikationsziele	Nach erfolgreichem Abschluss des Moduls sind die Studierenden in der Lage, moderne KI-Methoden zur Rekonstruktion, Qualitätsverbesserung und Analyse biomedizinischer Bilddaten anzuwenden. Sie verstehen die physikalischen Grundlagen der Bildentstehung in CT, MRT und Mikroskopie und können geeignete Deep-Learning-Modelle auswählen, implementieren und kritisch bewerten. Zudem sind sie in der Lage, KI-basierte Ergebnisse hinsichtlich Interpretierbarkeit, Generalisierbarkeit und physikalischer Plausibilität einzuordnen.
Inhalte	• Grundlagen der künstlichen Intelligenz und des maschinellen Lernens • Deep-Learning-Methoden (CNNs, GANs, Backpropagation, Universal Approximation Theorem) • KI-basierte Bildrekonstruktion und -analyse • Anwendungen in Computertomographie und Magnetresonanztomographie • Bildentrauschung und -restauration mit Deep Learning • Computational Superresolution in der Mikroskopie • Grenzen und Zuverlässigkeit KI-basierter Bildgebungsverfahren • Praktische Umsetzung in Python
Lehr- und Lernformen	• Artificial Intelligence for Biomedical Imaging (V): 2 SWS • Exercises in Artificial Intelligence for Biomedical Imaging (Ü): 2 SWS
Unterrichtssprache	Englisch
Voraussetzungen für die Teilnahme	Verbindlich: Keine Empfohlen: Keine
Modulabschluss	Voraussetzungen zur Modulprüfung: Studienleistungen: Regelmäßige und erfolgreiche Teilnahme an Übungen; die Teilnahme gilt als erfolgreich, wenn ein überwiegender Anteil (mindestens 50%) der Übungspunkte erreicht worden ist. Art der Modulprüfung: Mündliche Prüfung (benotet) Prüfungssprache: Englisch Abweichungen werden vor Beginn der Lehrveranstaltung bekannt gegeben.
Arbeitsaufwand in den einzelnen Modulteilern	• Artificial Intelligence for Biomedical Imaging (V): 3 LP • Exercises in Artificial Intelligence for Biomedical Imaging (Ü): 2 LP
Gesamtarbeitsaufwand des Moduls	5 LP
Dauer	Ein Semester
Häufigkeit des Angebots	Jährlich im Sommersemester

Modultyp	Wahlpflichtmodul
Titel	Physics of Biomedical X-ray Fluorescence Imaging
Sigle	PHY-MV-E309
Qualifikationsziele	Nach erfolgreichem Abschluss des Moduls verstehen die Studierenden die physikalischen Grundlagen der Röntgenfluoreszenz-Bildgebung im biomedizinischen Kontext. Sie können die Entstehung von Hintergrundsignalen analysieren, Methoden zur Hintergrundreduktion bewerten und die physikalischen Grenzen der Nachweisempfindlichkeit erklären. Darüber hinaus sind sie in der Lage, konventionelle und synchrotronbasierte Bildgebungsansätze zu vergleichen und deren Einsatz in präklinischen und klinischen Anwendungen einzuordnen.
Inhalte	• Theoretische Grundlagen der Photon-Materie-Wechselwirkung im Röntgenenergiebereich • Grundlagen der biomedizinischen Röntgenfluoreszenz-Bildgebung • Experimentelle Methoden und aktuelle Studien zur Röntgenfluoreszenz-Bildgebung • Spektraler Hintergrund und Reduktionsmethoden • Nachweisgrenzen und Sensitivitätsoptimierung • Vergleich konventioneller und synchrotronbasierter Röntgenbildgebungsverfahren • Physikalische Grundlagen biomedizinischer und klinischer Anwendungen
Lehr- und Lernformen	• Physics of Biomedical X-ray Fluorescence Imaging (V): 4 SWS • Exercises in Physics of Biomedical X-ray Fluorescence Imaging (Ü): 2 SWS
Unterrichtssprache	Englisch
Voraussetzungen für die Teilnahme	Verbindlich: Keine Empfohlen: Keine
Modulabschluss	Voraussetzungen zur Modulprüfung: Keine Art der Modulprüfung: Klausur oder mündliche Prüfung (benotet) Prüfungssprache: Englisch oder Deutsch Abweichungen werden vor Beginn der Lehrveranstaltung bekannt gegeben.
Arbeitsaufwand in den einzelnen Modulteilern	• Physics of Biomedical X-ray Fluorescence Imaging (V): 6 LP • Exercises in Physics of Biomedical X-ray Fluorescence Imaging (Ü): 2 LP
Gesamtarbeitsaufwand des Moduls	8 LP
Dauer	Ein Semester
Häufigkeit des Angebots	Jährlich im Sommersemester

Modultyp	Wahlpflichtmodul
Titel	Programming Course for Biomedical Physics
Sigle	PHY-MV-E310
Qualifikationsziele	Nach erfolgreichem Absolvieren des Moduls kennen die Studierenden die wesentlichen Konzepte und Programmiersprachen, die in der Forschung zur biomedizinischen Physik verwendet werden, insbesondere für Monte-Carlo-Simulationen bei der Röntgenfluoreszenz-Bildgebung.
Inhalte	In diesem Kurs werden die Studierenden in die Programmiersprachen C++ und Python eingeführt, um selbständig in der Lage zu sein, Monte-Carlo-Codes wie etwa Geant4 für Simulationen zur biomedizinischen Röntgenfluoreszenz-Bildgebung anwenden zu können. Dazu gehört auch, Simulationen auf einem Computer-Cluster durchlaufen zu lassen und mit Python-Programmen die errechneten Daten auszuwerten. Anhand konkreter Beispiele aus der Forschung werden Simulationen aufgesetzt und deren Ergebnisse analysiert.
Lehr- und Lernformen	Programming Course for Biomedical Physics (V): 2 SWS
Unterrichtssprache	Englisch
Voraussetzungen für die Teilnahme	Verbindlich: Keine Empfohlen: Keine
Modulabschluss	Voraussetzungen zur Modulprüfung: Keine Art der Modulprüfung: Klausur oder mündliche Prüfung (benotet) Prüfungssprache: Englisch oder Deutsch Abweichungen werden vor Beginn der Lehrveranstaltung bekannt gegeben.
Arbeitsaufwand in den einzelnen Modulteilern	Programming Course for Biomedical Physics (V): 3 LP
Gesamtarbeitsaufwand des Moduls	3 LP
Dauer	Ein Semester
Häufigkeit des Angebots	Jährlich im Wintersemester

Modultyp	Wahlpflichtmodul
Titel	Advanced Methods for Surface and Nanostructure Characterization
Sigle	PHY-MV-E401
Qualifikationsziele	Nach erfolgreichem Abschluss des Moduls haben die Studierenden das Verständnis zu verschiedenen Methoden zur strukturellen und chemischen Charakterisierung von Nanostrukturen und Oberflächen sowie von der Entwicklung von Entscheidungskompetenz für die Methodenwahl zur chemischen und strukturellen Charakterisierung von Nanostrukturen und Oberflächen. Nach erfolgreichem Absolvieren des Moduls wissen die Studierende wie mit Röntgen und Elektronenbeugungsmethoden die atomare Struktur von Oberflächen und Nanostrukturen charakterisiert werden können. Sie kennen unterschiedliche Verfahren, um die Morphologie, atomare Struktur oder Nahordnung zu beschreiben. Weiterhin kennen die Studierenden elektronenspektroskopische Methoden, die zur Charakterisierung der chemischen und elektronischen Eigenschaften eingesetzt werden. Abschließend haben sie einen Überblick von ortsauflösenden Rastersondentechniken.
Inhalte	1. Röntgenbeugung an Systemen mit reduzierten Dimensionen • Röntgen-Reflexion • Röntgenbeugung unter streifendem Einfall, Kleinwinkelstreuung • Oberflächenröntgenbeugung • Beugung an dünnen Filmen, Vielfachschichten und Nanopartikeln 2. Elektronenbeugung an niederdimensionalen Systemen • Beugung niederenergetischer Elektronen • Beugung hochenergetischer Elektronen • Elektronen als lokale Sonde: EXAFS 3. Oberflächensensitive Spektroskopie • Photoemissionsspektroskopie • Auger Elektronenspektroskopie 4. Rastersondentechniken • Rastertunnelmikroskopie • Rasterkraftmikroskopie • Rasterelektronenmikroskopie
Lehr- und Lernformen	• Advanced Methods for Surface and Nanostructure Characterization (V): 2 SWS • Exercises in Advanced Methods for Surface and Nanostructure Characterization (Ü): 2 SWS
Unterrichtssprache	Englisch
Voraussetzungen für die Teilnahme	Verbindlich: Keine Empfohlen: Festkörperphysik; Nanostrukturphysik
Modulabschluss	Voraussetzungen zur Modulprüfung: Keine Art der Modulprüfung: Klausur oder mündliche Prüfung (benotet) Prüfungssprache: Englisch Abweichungen werden vor Beginn der Lehrveranstaltung bekannt gegeben.

Arbeitsaufwand in den einzelnen Modulteilern	• Advanced Methods for Surface and Nanostructure Characterization (V): 3 LP • Exercises in Advanced Methods for Surface and Nanostructure Characterization (Ü): 2 LP
Gesamtarbeitsaufwand des Moduls	5 LP
Dauer	Ein Semester
Häufigkeit des Angebots	Jährlich im Sommersemester

Modultyp	Wahlpflichtmodul
Titel	Advanced Solid-State Physics
Sigle	PHY-MV-E403
Qualifikationsziele	Nach erfolgreichem Abschluss des Moduls haben die Studierenden vertiefte Kenntnisse über den wissenschaftlichen Stand der Forschung in der Festkörper- und Nanostrukturphysik. Es ist vertieftes Fachwissen vorhanden, um eine experimentelle Master-Arbeit im Gebiet der Festkörper- und Nanostrukturphysik erfolgreich durchführen zu können.
Inhalte	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.
Lehr- und Lernformen	• Advanced Solid-State Physics (V): 4 SWS • Exercises in Advanced Solid-State Physics (Ü): 2 SWS
Unterrichtssprache	Englisch
Voraussetzungen für die Teilnahme	Verbindlich: Keine Empfohlen: Physik IV (= Festkörperphysik) oder Nanostrukturphysik A und B (B.Sc.)
Modulabschluss	Voraussetzungen zur Modulprüfung: Keine Art der Modulprüfung: Klausur oder mündliche Prüfung (benotet) Prüfungssprache: Englisch Abweichungen werden vor Beginn der Lehrveranstaltung bekannt gegeben.
Arbeitsaufwand in den einzelnen Modulteilern	• Advanced Solid-State Physics (V): 6 LP • Exercises in Advanced Solid-State Physics (Ü): 2 LP
Gesamtarbeitsaufwand des Moduls	8 LP

Dauer	Ein Semester
Häufigkeit des Angebots	Jährlich im Sommersemester

Modultyp	Wahlpflichtmodul
Titel	Application of Synchrotron Radiation in Nanoscience
Sigle	PHY-MV-E404
Qualifikationsziele	Nach erfolgreichem Abschluss des Moduls können die Studierenden die Eigenschaften der Synchrotronstrahlung erläutern, experimentelle Methoden wie SAXS, Pulverdiffraktometrie und Total Xray scattering beschreiben und anwenden, Messdaten auswerten sowie geeignete Messstrategien für die strukturelle Charakterisierung von Nanopartikeln auswählen und begründen.
Inhalte	• Prinzipien und Theorie der Pulver-Röntgendiffraktion (PXRD) • Grundlagen der Kleinwinkel-Röntgenstreuung (SAXS) und zeitaufgelöster Techniken (TS) • Experimentelle Datenerfassung und Analysemethoden • Strahlzeitexperimente am Deutschen Elektronen-Synchrotron (DESY) • Probenpräparation und experimenteller Aufbau • Praktische Messungen in Kleingruppen • Workshop-basierte Auswertung experimenteller Daten
Lehr- und Lernformen	• Application of Synchrotron Radiation in Nanoscience (V): 2 SWS • Exercises in Application of Synchrotron Radiation in Nanoscience (Ü): 2 SWS
Unterrichtssprache	Englisch
Voraussetzungen für die Teilnahme	Verbindlich: Keine Empfohlen: Nanochemie I und II, Methoden moderner Röntgenphysik I
Modulabschluss	Voraussetzungen zur Modulprüfung: Keine Art der Modulprüfung: Hausarbeit (benotet) Prüfungssprache: Englisch Abweichungen werden vor Beginn der Lehrveranstaltung bekannt gegeben.
Arbeitsaufwand in den einzelnen Modulteilern	• Application of Synchrotron Radiation in Nanoscience (V): 3 LP • Exercises in Application of Synchrotron Radiation in Nanoscience (Ü): 2 LP
Gesamtarbeitsaufwand des Moduls	5 LP
Dauer	Ein Semester
Häufigkeit des Angebots	Jährlich im Sommersemester

Modultyp	Wahlpflichtmodul
Titel	Complex Materials
Sigle	PHY-MV-E405
Qualifikationsziele	Nach erfolgreichem Abschluss des Moduls können die Studierenden nanoskalige Bausteine gezielt entwerfen und herstellen, die zugrunde liegenden chemischen und physikalischen Prozesse erläutern sowie Konzepte zur hierarchischen Assemblierung funktionaler Materialien anwenden und auf aktuelle Fragestellungen der Nanotechnologie übertragen.
Inhalte	• Synthese von 0D-, 1D-, 2D- und 3D-Bausteinen im Nano- und Mikrometerbereich • Physikalische Eigenschaften von Nanomaterialien (Größenquantisierung, plasmonische Effekte, Superparamagnetismus) • Batch- und Flow-Chemie-Verfahren • Synthesemethoden für anorganische und polymere Nanomaterialien • Assemblierung von Bausteinen zu hierarchischen Strukturen (nm–cm) • Selbstorganisation und gerichtete Assemblierungsstrategien • Dispersionsbasierte Beschichtungsverfahren • 2D- und 3D-Druck von funktionalen Materialien • Herstellung makroskopischer Architekturen (z. B. Aerogele) • Anwendung von Nanomaterialkonzepten auf funktionale Materialien • Praktische Laborumsetzung eigener Projektideen
Lehr- und Lernformen	• Complex Materials (V): 3 SWS • Project: 1 SWS
Unterrichtssprache	Englisch oder Deutsch
Voraussetzungen für die Teilnahme	Verbindlich: Keine Empfohlen: Introductory courses in Physical Chemistry, Physics or Nanochemistry
Modulabschluss	Voraussetzungen zur Modulprüfung: Erfolgreiches Erbringen von Studienleistungen und regelmäßige Teilnahme am Projekt Art der Modulprüfung: Referat (benotet) Prüfungssprache: Englisch Abweichungen werden vor Beginn der Lehrveranstaltung bekannt gegeben.
Arbeitsaufwand in den einzelnen Modulteilern	• Complex Materials (V): 5 LP • Project work: 1 LP
Gesamtarbeitsaufwand des Moduls	6 LP
Dauer	Ein Semester
Häufigkeit des Angebots	Jährlich im Sommersemester

Modultyp	Wahlpflichtmodul
Titel	Fundamentals of Photovoltaics
Sigle	PHY-MV-E408
Qualifikationsziele	Nach erfolgreichem Abschluss des Moduls sind die Studierenden in der Lage, die physikalischen Grundlagen der photovoltaischen Energieumwandlung zu erläutern und auf verschiedene Solarzellkonzepte anzuwenden. Sie können unterschiedliche Solarzelltechnologien hinsichtlich Wirkungsgrad, Materialsystemen und technologischer Umsetzung vergleichen und bewerten. Zudem sind sie befähigt, theoretische, technische und ökonomische Limitierungen der Photovoltaik kritisch einzuordnen und grundlegende Fertigungsprozesse von Solarzellen zu beschreiben.
Inhalte	Es werden folgende Themen behandelt: • Konzept photovoltaischer Energieerzeugung • Theoretische, technische und ökonomische Grenzen der Photovoltaik • Technologien verschiedener Solarzellentypen • Herstellung von Solarzellen
Lehr- und Lernformen	Fundamentals of Photovoltaics (V): 2 SWS
Unterrichtssprache	Englisch
Voraussetzungen für die Teilnahme	Verbindlich: Keine Empfohlen: Physik V (B.Sc.)
Modulabschluss	Voraussetzungen zur Modulprüfung: Keine Art der Modulprüfung: Projektabschluss (benotet) Prüfungssprache: Englisch Abweichungen werden vor Beginn der Lehrveranstaltung bekannt gegeben.
Arbeitsaufwand in den einzelnen Modulteilern	Fundamentals of Photovoltaics (V): 3 LP
Gesamtarbeitsaufwand des Moduls	3 LP
Dauer	Ein Semester
Häufigkeit des Angebots	Jährlich im Sommersemester

Modultyp	Wahlpflichtmodul
Titel	Methods in Nanobiotechnology I
Sigle	PHY-MV-E410
Qualifikationsziele	Nach erfolgreichem Abschluss des Moduls kennen die Studierenden moderne Methoden und Aspekte der Nanobiotechnologie und sind für wissenschaftliche Arbeiten in dieser Thematik vorbereitet. Die Studierenden können fachliche Primärliteratur zum Thema verstehen, einordnen, und auch zusammenfassend vortragen.
Inhalte	In diesem Kurs werden grundlegende Methoden der Nanobiotechnologie vorgestellt und diskutiert. Der Fokus dieses Moduls liegt in der Synthese von Materialien, besonders der von Kolloiden, und deren Charakterisierung. Experimentelle Techniken und Hintergrundinformationen über Messapparaturen werden behandelt. Als Beispiele werden die Synthese kolloidaler Nanopartikel und Mikropartikel, die Funktionalisierung von Oberflächen, Reinigungsmethoden, Bestimmung von Partikelgrößen und Partikeltrennungsprozessen, Bioconjugation, photophysikalische Grundlagen, u.s.w. behandelt.
Lehr- und Lernformen	• Methods in Nanobiotechnology I (V): 2 SWS • Exercises in Methods in Nanobiotechnology I (Ü): 2 SWS • Practical: Methods in Nanobiotechnology I: 2 SWS
Unterrichtssprache	Englisch
Voraussetzungen für die Teilnahme	Verbindlich: Keine Empfohlen: Keine
Modulabschluss	Voraussetzungen zur Modulprüfung: Keine Art der Modulprüfung: Referat (50%) und Praktikumsabschluss (schriftliche Ausarbeitung und Kolloquium, 50%) (benotet) Prüfungssprache: Englisch Abweichungen werden vor Beginn der Lehrveranstaltung bekannt gegeben.
Arbeitsaufwand in den einzelnen Modulteilern	• Methods in Nanobiotechnology I (V): 3 LP • Exercises in Methods in Nanobiotechnology I (Ü): 2 LP • Practical: Methods in Nanobiotechnology I: 2 LP
Gesamtarbeitsaufwand des Moduls	7 LP
Dauer	Ein Semester
Häufigkeit des Angebots	Jährlich im Wintersemester

Modultyp	Wahlpflichtmodul
Titel	Methods in Nanobiotechnology II
Sigle	PHY-MV-E411
Qualifikationsziele	Nach erfolgreichem Abschluss des Moduls haben Studierenden Kenntnis von modernen Methoden und Aspekten der Nanobiotechnologie. Sie sind für wissenschaftliche Arbeiten in dieser Thematik vorbereitet und können fachliche Primärliteratur zum Thema verstehen, einordnen, und auch zusammenfassend vortragen.
Inhalte	In diesem Kurs werden grundlegende Methoden der Nanobiotechnologie vorgestellt und diskutiert. Der Fokus dieses Moduls liegt in der Synthese von Materialien, besonders der von Kolloiden, und deren Charakterisierung. Experimentelle Techniken und Hintergrundinformationen über Messapparaturen werden behandelt. Als Beispiele werden die Synthese kolloidaler Nanopartikel und Mikropartikel, die Funktionalisierung von Oberflächen, Reinigungsmethoden, Bestimmung von Partikelgrößen und Partikeltrennungsprozessen, Bioconjugation, photophysikalische Grundlagen, usw. behandelt.
Lehr- und Lernformen	• Methods in Nanobiotechnology II (V): 2 SWS • Exercises in Methods in Nanobiotechnology II (Ü): 2 SWS • Practical: Methods in Nanobiotechnology II: 2 SWS
Unterrichtssprache	Englisch
Voraussetzungen für die Teilnahme	Verbindlich: Keine Empfohlen: Keine
Modulabschluss	Voraussetzungen zur Modulprüfung: Keine Art der Modulprüfung: Referat (50%) und Praktikumsabschluss (schriftliche Ausarbeitung und Kolloquium, 50%) (benotet) Prüfungssprache: Englisch Abweichungen werden vor Beginn der Lehrveranstaltung bekannt gegeben.
Arbeitsaufwand in den einzelnen Modulteilern	• Methods in Nanobiotechnology II (V): 3 LP • Exercises in Methods in Nanobiotechnology II (Ü): 2 LP • Practical: Methods in Nanobiotechnology II: 2 LP
Gesamtarbeitsaufwand des Moduls	7 LP
Dauer	Ein Semester
Häufigkeit des Angebots	Jährlich im Sommersemester

Modultyp	Wahlpflichtmodul
Titel	Modern Molecular Physics
Sigle	PHY-MV-E412
Qualifikationsziele	Nach erfolgreichem Abschluss des Moduls kennen die Studierenden die grundlegenden Konzepte moderner Experimente in der Molekülphysik. Sie haben ein detailliertes Verständnis von Atomen und Molekülen und deren Wechselwirkung mit äußeren Feldern und anderen Teilchen sowie ein Verständnis für experimentelle Konzepte in der Molekülphysik erworben.
Inhalte	• Einführung in moderne Experimente der Molekularphysik • Einführung in die Quantenmechanik für Moleküle • Wechselwirkung klassischer Lichtfelder mit Molekülen • Grundlagen der molekularen elektronischen Struktur und Spektroskopie • Grundlagen der molekularen Rotations-Schwingungs-Dynamik • Kontrolle der molekularen Translationsbewegung • Kontrolle und Bildgebung von Molekülrotationen und -schwingungen • Techniken zur Zuführung makromolekularer Proben • Wissenschaft an FELs und Synchrotrons, diffraktive Bildgebung
Lehr- und Lernformen	• Modern Molecular Physics (V): 2 SWS • Exercises in modern Molecular Physics (Ü): 1 SWS
Unterrichtssprache	Englisch
Voraussetzungen für die Teilnahme	Verbindlich: Keine Empfohlen: Quantenmechanik, Einführung in die Atom-, Molekular- und Laserphysik und Quantenoptik (B.Sc.)
Modulabschluss	Voraussetzungen zur Modulprüfung: Keine Art der Modulprüfung: Klausur oder mündliche Prüfung (benotet) Prüfungssprache: Englisch oder Deutsch Abweichungen werden vor Beginn der Lehrveranstaltung bekannt gegeben.
Arbeitsaufwand in den einzelnen Modulteilern	• Modern Molecular Physics (V): 3 LP • Exercises in Modern Molecular Physics (Ü): 1 LP
Gesamtarbeitsaufwand des Moduls	4 LP
Dauer	Ein Semester
Häufigkeit des Angebots	Jährlich im Wintersemester

Modultyp	Wahlpflichtmodul
Titel	Modern Molecular Physics – Clusterphysics
Sigle	PHY-MV-E413
Qualifikationsziele	Nach erfolgreichem Abschluss des Moduls haben die Studierenden Kenntnisse über die Grundlagen, Anwendungen und den wissenschaftlichen Stand der Forschung an Clustern, sowie das Wissen zur Berechnung geometrischer und elektronischer Strukturen kleiner Cluster. Sie kennen das Fachgebiet zum Größenbereich, welches zwischen den Atomen und der Festkörperphysik liegt. Das erworbene Fachwissen dient dazu, eine experimentelle Masterarbeit im Gebiet sehr kleiner Nanostrukturen erfolgreich anfertigen zu können. Die Studierenden können geometrische und elektronische Strukturen kleiner Cluster berechnen, die sie durch die Übungen zur Einführung in die quantenchemische Rechnung ermöglicht wurden.
Inhalte	• Einführung in die Clusterphysik: Was sind Cluster? • Grundlagen quantenchemischer Methoden • Experimentelle Methoden der Cluster-, Molekül, und Ionenphysik • Bindungen in Clustern • Elektronische und magnetische Eigenschaften von Cluster • Chemische Eigenschaften und Katalyse • Kohlenstoffcluster, Fullerene und Nanotubes
Lehr- und Lernformen	• Modern Molecular Physics – Clusterphysics (V): 2 SWS • Exercises in Modern Molecular Physics – Clusterphysics (Ü): 2 SWS
Unterrichtssprache	Englisch oder Deutsch
Voraussetzungen für die Teilnahme	Verbindlich: Keine Empfohlen: Keine
Modulabschluss	Voraussetzungen zur Modulprüfung: Keine Art der Modulprüfung: Klausur oder mündliche Prüfung (benotet) Prüfungssprache: Englisch oder Deutsch Abweichungen werden vor Beginn der Lehrveranstaltung bekannt gegeben.
Arbeitsaufwand in den einzelnen Modulteilern	• Modern Molecular Physics – Clusterphysics (V): 3 LP • Exercises in Modern Molecular Physics – Clusterphysics (Ü): 2 LP
Gesamtarbeitsaufwand des Moduls	5 LP
Dauer	Ein Semester
Häufigkeit des Angebots	Jährlich im Sommersemester

Modultyp	Wahlpflichtmodul
Titel	Nanostructure Physics I
Sigle	PHY-MV-E414
Qualifikationsziele	Nach erfolgreichem Abschluss des Moduls können die Studierenden die physikalischen Grundlagen von Halbleiter-Nanostrukturen erläutern, Herstellungsverfahren wie PVD und CVD vergleichen, Transportphänomene in niedrigdimensionalen Systemen analysieren sowie Eigenschaften und Anwendungen von 0D-, 1D- und 2D-Nanostrukturen bewerten.
Inhalte	- Grundlagen der Halbleiterphysik und des Ladungsträgertransports - Halbleitergrenzflächen und klassische Halbleiterbauelemente - Herstellungsverfahren (PVD, CVD) für Filme und Heterostrukturen - Mikro- und Nanostrukturierungstechniken - Transport in niedrigdimensionalen Elektronensystemen - Halbleiter-Nanostrukturen (0D, 1D, 2D) und heterostrukturierte Bauelemente - Anwendungen halbleitender Nanostrukturen (optische und energiebezogene Bauelemente) - Graphen und andere zweidimensionale Materialien
Lehr- und Lernformen	- Nanostructure Physics I (V): 4 SWS - Exercises in Nanostructure Physics I (Ü): 2 SWS
Unterrichtssprache	Englisch
Voraussetzungen für die Teilnahme	Verbindlich: Keine Empfohlen: Nanostrukturphysik A oder Physik IV (= Festkörperphysik)
Modulabschluss	Voraussetzungen zur Modulprüfung: Keine Art der Modulprüfung: Klausur oder mündliche Prüfung (benotet) Prüfungssprache: Englisch Abweichungen werden vor Beginn der Lehrveranstaltung bekannt gegeben.
Arbeitsaufwand in den einzelnen Modulteilern	- Nanostructure Physics I (V): 6 LP - Exercises in Nanostructure Physics I (Ü): 2 LP
Gesamtarbeitsaufwand des Moduls	8 LP
Dauer	Ein Semester
Häufigkeit des Angebots	Jährlich im Wintersemester

Modultyp	Wahlpflichtmodul
Titel	Nanostructure Physics II: Surface Science and Magnetism
Sigle	PHY-MV-E416
Qualifikationsziele	Nach erfolgreichem Abschluss des Moduls können die Studierenden grundlegende Konzepte der Oberflächenphysik und des Magnetismus in reduzierten Dimensionen erläutern, experimentelle Methoden der Oberflächencharakterisierung und Niedrigtemperaturphysik anwenden und bewerten, magnetische Wechselwirkungen identifizieren sowie komplexe magnetische Zustände und deren Dynamik analysieren und in den Kontext aktueller Forschungsentwicklungen einordnen.
Inhalte	• Ultrahochvakuum- und Tieftemperaturtechnologie • Oberflächenstrukturen und Überstrukturen • Oberflächencharakterisierung mit Elektronen- und Photontechniken • Rastersondenmethoden (spin- und zeitaufgelöst) • Magnetowiderstandseffekte • Komplexe magnetische Ordnung (Spinspiralen, Skyrmionen) • Elektronische Oberflächenstruktur (Oberflächenzustände, Rashba-Effekt) • Dimensionalitätseffekte im Bandmagnetismus • Verallgemeinerte quantenmechanische und semiklassische Heisenberg-Modelle und magnetische Wechselwirkungen • Spin-Bahn-Kopplung im Oberflächenmagnetismus • Magnetisierungsdynamik (Spinwellen, Landau-Lifshitz-Gilbert-Gleichung) • Aktuelle Themen (topologische Isolatoren, magnetische Skyrmionen, topologische Supraleiter, Majorana-Zustände)
Lehr- und Lernformen	• Nanostructure Physics II (V): 4 SWS • Exercises in Nanostructure Physics II (Ü): 2 SWS
Unterrichtssprache	Englisch oder Deutsch
Voraussetzungen für die Teilnahme	Verbindlich: Keine Empfohlen: Quantenphysik/Quantenchemie und Nanostrukturphysik A, B, bzw. Physik III (= Quantenphysik und Statistische Physik) und Physik IV (= Festkörperphysik)
Modulabschluss	Voraussetzungen zur Modulprüfung: Erfolgreiche Erbringung von Studienleistungen (60 Prozent der Punkte in den Übungen) Art der Modulprüfung: Klausur oder mündliche Prüfung (benotet) Prüfungssprache: Englisch oder Deutsch Abweichungen werden vor Beginn der Lehrveranstaltung bekannt gegeben.
Arbeitsaufwand in den einzelnen Modulteilen	• Nanostructure Physics II (V): 6 LP • Exercises in Nanostructure Physics II (Ü): 2 LP
Gesamtarbeitsaufwand des Moduls	8 LP
Dauer	Ein Semester
Häufigkeit des Angebots	Jährlich im Sommersemester

Modultyp	Wahlpflichtmodul
Titel	Nanostructure Physics III: Nano-Bio-Interfaces
Sigle	PHY-MV-E417
Qualifikationsziele	Nach erfolgreichem Abschluss des Moduls sind die Studierenden in der Lage, zentrale physikalische und biophysikalische Prozesse an Bio- und Nanogrenzflächen zu erklären und quantitativ zu beschreiben. Sie können Transport-, Wechselwirkungs- und Strukturphänomene an Grenzflächen analysieren und geeignete experimentelle Methoden zur Untersuchung bio-nanophysikalischer Systeme einordnen. Darüber hinaus sind sie befähigt, Anwendungen in Mikrofluidik, Sensorik und Biomedizin physikalisch zu bewerten.
Inhalte	1. Einführung 2. Grundlagen • Kraft und Energie • Thermodynamische Potentiale • Diffusion • Debye-Hückel Abschirmung, Zeta-Potential 3. Bio- und Nanogrenzflächen • Physikalische Beschreibung organischer und anorganischer Grenzflächen • Biophysikalische Grenzflächen • Oberflächenspannung und Osmose • Zellmembranen • Elektrische Eigenschaften von Zellmembranen und Ionentransfer • Aufbau und Raumstruktur von Proteinen • Protein-Protein- / Protein-Oberflächen-Wechselwirkungen • AFM-Kraftspektroskopie: Kraftinduzierte Sekundärstrukturänderungen • Enzymkatalyse durch Tunneleffekt 4. Anwendungen • Mikrofluidik • Implantatoberflächen in der Forschung • Bioelektronische Devices • Biosensoren und in-vitro/in-vivo Diagnostik
Lehr- und Lernformen	Nanostructure Physics III (V): 4 SWS
Unterrichtssprache	Englisch oder Deutsch
Voraussetzungen für die Teilnahme	Verbindlich: Keine Empfohlen: Grundlagen der Physik und Chemie (B.Sc.)
Modulabschluss	Voraussetzungen zur Modulprüfung: Keine Art der Modulprüfung: Klausur oder mündliche Prüfung (benotet) Prüfungssprache: Englisch oder Deutsch Abweichungen werden vor Beginn der Lehrveranstaltung bekannt gegeben.
Arbeitsaufwand in den einzelnen Modulteilern	Nanostructure Physics III (V): 6 LP
Gesamtarbeitsaufwand des Moduls	6 LP

Dauer	Ein Semester
Häufigkeit des Angebots	Jährlich im Wintersemester

Modultyp	Wahlpflichtmodul
Titel	Nanostructure Physics IV – Nanobiotechnology and Energy Materials
Sigle	PHY-MV-E418
Qualifikationsziele	Nach erfolgreichem Absolvieren des Moduls können Studierende die wesentlichen Forschungsergebnisse der Anwendung von Nanostrukturen und Nanomaterialien in den Bereich Medizin und Biotechnologie zusammenfassen. Auch hinsichtlich Energiespeicherung und Energieerzeugung mittels Nanomaterialien werden sie entsprechende Kenntnisse besitzen.
Inhalte	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.
Lehr- und Lernformen	- Nanostructure Physics IV (V): 2 SWS - Exercises in Nanostructure Physics IV (Ü): 1 SWS
Unterrichtssprache	Englisch oder Deutsch
Voraussetzungen für die Teilnahme	Verbindlich: Keine Empfohlen: Keine
Modulabschluss	Voraussetzungen zur Modulprüfung: Keine Art der Modulprüfung: Klausur oder mündliche Prüfung (benotet) Prüfungssprache: Englisch oder Deutsch Abweichungen werden vor Beginn der Lehrveranstaltung bekannt gegeben.
Arbeitsaufwand in den einzelnen Modulteilern	- Nanostructure Physics IV (V): 3 LP - Exercises in Nanostructure Physics IV (Ü): 1 LP
Gesamtarbeitsaufwand des Moduls	4 LP
Dauer	Ein Semester
Häufigkeit des Angebots	Jährlich im Sommersemester

Modultyp	Wahlpflichtmodul
Titel	Quantum Transport and Experimental Quantum Physics
Sigle	PHY-MV-E420
Qualifikationsziele	Nach erfolgreichem Abschluss des Moduls haben die Studierende ein vertieftes Wissen zu den wichtigen Prinzipien der Halbleiter- und Festkörperphysik und grundlegendes zu neuen, exotischen Materiezuständen. Sie besitzen das Verständnis zu wichtigen Quanteneffekte in Festkörpern und deren experimentellen Untersuchungsmethoden. Die Studierenden wissen, wie moderne Halbleiterstrukturen aufgebaut sind und wie sie zu Nanostrukturen prozessiert werden können. Sie verstehen, unter welchen Bedingungen Quanteneffekte in Halbleitern auftreten, wie sie physikalisch zu interpretieren sind und wie sie experimentell untersucht werden. Die Studierenden kennen die Anwendungen der modernen Messtechniken von Halbleitern bei Temperaturen ≤ 4.2 Kelvin und besitzen die nötigen Grundlagen, um auf dem Gebiet des Quantentransports experimentell arbeiten zu können.
Inhalte	1. Einführung 2. Grundlagen der Festkörper- und Halbleiterphysik (ca. 15% der VL) • Bandstrukturen • Eigenschaften der Ladungsträger 3. Grundlagen der Halbleitertechnologie (ca. 15%) • Wachstum von Halbleitern • Prozessierung, Strukturierung und Reinraumtechnologien • Charakterisierungsmethoden 4. Quanteneffekte und Quantentransport (ca. 60%) • Transport von Ladungsträgern • Wechselwirkungen und Defekte • Quantisierung durch Einschlusspotentiale und Magnetfelder • Quanten-Hall-Effekte und Graphen • Topologische Systeme • Quanteneffekte in Nanostrukturen 5. Messmethoden und Technologien (ca. 10%) • Grundlagen der Tieftemperaturphysik (4.2 Kelvin bis Millikelvin-Bereich) • Grundlagen der Messdatenaufnahme für Transport bei tiefen Temperaturen (Messmethoden und Datenaufnahme/Programmierung)
Lehr- und Lernformen	• Quantum Transport and Experimental Quantum Physics (V): 2 SWS • Exercises in Quantum Transport and Experimental Quantum Physics (Ü): 1 SWS
Unterrichtssprache	Englisch oder Deutsch
Voraussetzungen für die Teilnahme	Verbindlich: Keine Empfohlen: Grundlagen der Elektrodynamik und Quantenmechanik (B.Sc.)

Modulabschluss	Voraussetzungen zur Modulprüfung: Keine Art der Modulprüfung: Referat und mündliche Prüfung (benotet) Prüfungssprache: Englisch oder Deutsch Abweichungen werden vor Beginn der Lehrveranstaltung bekannt gegeben.
Arbeitsaufwand in den einzelnen Modulteilern	• Quantum Transport and Experimental Quantum Physics (V): 3 LP • Exercises in Quantum Transport and Experimental Quantum Physics (Ü): 1 LP
Gesamtarbeitsaufwand des Moduls	4 LP
Dauer	Ein Semester
Häufigkeit des Angebots	Jährlich im Wintersemester

Modultyp	Wahlpflichtmodul
Titel	Computational Many-Body Theory
Sigle	PHY-MV-T401
Qualifikationsziele	Nach erfolgreichem Abschluss des Moduls können die Studierenden moderne numerische Methoden für Vielteilchen-Quantensysteme zielgerichtet auswählen, implementieren und anwenden. Sie sind in der Lage, physikalische Modellprobleme rechnergestützt zu analysieren, numerische Ergebnisse kritisch zu bewerten und diese im Kontext aktueller Forschung zu interpretieren.
Inhalte	• Physikalische Modelle wechselwirkender Quantensysteme (Spinmodelle, Hubbard-Modell) • Exakte Diagonalisierungsverfahren • Tensor-Netzwerk-Ansätze (MPS, DMRG) • Quantum-Monte-Carlo-Methoden • Entwicklung prototypischer Simulationsprogramme • Analyse und Interpretation numerischer Ergebnisse • Vergleich mit theoretischen Erwartungen
Lehr- und Lernformen	• Computational Many-Body Theory (V): 2 SWS • Exercises in Computational Many-Body Theory (Ü): 2 SWS
Unterrichtssprache	Englisch
Voraussetzungen für die Teilnahme	Verbindlich: Keine Empfohlen: Programmierkenntnisse in Python
Modulabschluss	Voraussetzungen zur Modulprüfung: Keine Art der Modulprüfung: Mündliche Prüfung (benotet) Prüfungssprache: Englisch Abweichungen werden vor Beginn der Lehrveranstaltung bekannt gegeben.
Arbeitsaufwand in den einzelnen Modulteilern	• Computational Many-Body Theory (V): 3 LP • Exercises in Computational Many-Body Theory (Ü): 2 LP
Gesamtarbeitsaufwand des Moduls	5 LP
Dauer	Ein Semester
Häufigkeit des Angebots	Jährlich im Wintersemester

Modultyp	Wahlpflichtmodul
Titel	Condensed-Matter Theory
Sigle	PHY-MV-T403
Qualifikationsziele	Nach erfolgreichem Abschluss des Moduls können die Studierenden zentrale Konzepte der Theorie der kondensierten Materie erläutern und grundlegende theoretische Methoden, wie z. B. Bandstruktur- und Dichtefunktionaltheorie, auf typische Problemstellungen anwenden. Die Studierenden sind in der Lage, kollektive Phänomene, wie Magnetismus und Supraleitung, sowie Korrelationseffekte und Transportprozesse zu identifizieren, einzuordnen und zu analysieren.
Inhalte	• Bandstrukturtheorie • Dichtefunktionaltheorie und Mean-Field-Theorie • Elektron-Phonon-Wechselwirkung • Kollektiver Magnetismus • Supraleitung • Korrelationseffekte (Mott-Isolatoren) • Elektronentransport
Lehr- und Lernformen	• Condensed-Matter Theory (V): 4 SWS • Exercises in Condensed-Matter Theory (Ü): 2 SWS
Unterrichtssprache	Englisch oder Deutsch
Voraussetzungen für die Teilnahme	Verbindlich: Keine Empfohlen: Keine
Modulabschluss	Voraussetzungen zur Modulprüfung: Keine Art der Modulprüfung: Klausur oder mündliche Prüfung (benotet) Prüfungssprache: Englisch oder Deutsch Abweichungen werden vor Beginn der Lehrveranstaltung bekannt gegeben.
Arbeitsaufwand in den einzelnen Modulteilern	• Condensed-Matter Theory (V): 6 LP • Exercises in Condensed-Matter Theory (Ü): 2 LP
Gesamtarbeitsaufwand des Moduls	8 LP
Dauer	Ein Semester
Häufigkeit des Angebots	Jährlich im Wintersemester

Modultyp	Wahlpflichtmodul
Titel	Condensed-Matter Theory: Special Topics
Sigle	PHY-MV-T404
Qualifikationsziele	Nach erfolgreichem Abschluss des Moduls können die Studierenden fortgeschrittene theoretische Methoden der Theorie kondensierter Materie anwenden, moderne Konzepte wie z. B. Nichtgleichgewichtsprozesse und topologische Effekte einordnen sowie aktuelle Forschungsthemen der kondensierten Materie kritisch analysieren.
Inhalte	Moderne Methoden and Themen der Theorie kondensierter Materie, z. B.: • Green-Funktionen und diagrammatische Störungstheorie • Nichtgleichgewichts-Green-Funktionen • Quanten-Monte-Carlo- und Renormierungsgruppenmethoden • Moderne Materialwissenschaft • Spontane Symmetriebrechung • Topologische Eigenschaften der elektronischen Struktur • Transiente Phänomene und Echtzeitdynamik • Transporttheorie
Lehr- und Lernformen	• Condensed-Matter Theory: Special Topics (V): 4 SWS • Exercises in Condensed-Matter Theory: Special Topics (Ü): 2 SWS
Unterrichtssprache	Englisch
Voraussetzungen für die Teilnahme	Verbindlich: Keine Empfohlen: Keine
Modulabschluss	Voraussetzungen zur Modulprüfung: Keine Art der Modulprüfung: Klausur oder mündliche Prüfung (benotet) Prüfungssprache: Englisch Abweichungen werden vor Beginn der Lehrveranstaltung bekannt gegeben.
Arbeitsaufwand in den einzelnen Modulteilern	• Condensed-Matter Theory: Special Topics (V): 6 LP • Exercises in Condensed-Matter Theory: Special Topics (Ü): 2 LP
Gesamtarbeitsaufwand des Moduls	8 LP
Dauer	Ein Semester
Häufigkeit des Angebots	Jährlich im Sommersemester

Modultyp	Wahlpflichtmodul
Titel	Nonequilibrium Quantum Statistics and Transport Theory
Sigle	PHY-MV-T405
Qualifikationsziele	Nach erfolgreichem Abschluss des Moduls können die Studierenden Quantensysteme weg vom Gleichgewicht mit geeigneten statistischen und transporttheoretischen Methoden modellieren, Relaxations- und Dekohärenzprozesse analysieren, lineare Antwortfunktionen berechnen sowie Quantentransportphänomene in nanoskopischen Systemen theoretisch beschreiben und bewerten.
Inhalte	• Quantendynamik im Nichtgleichgewicht • System-Bad-Modelle • Langevin-Gleichungen (klassisch und quantenmechanisch) • Fokker-Planck-Gleichung • Boltzmann-Gleichung • Quantenmastergleichungen (Relaxation, Dekohärenz) • Zweite Quantisierung • Freies Elektronengas • Phononen und Elektron-Phonon-Kopplung • Mean-Field-Theorie und Quantentransport • Zeitabhängige Quantentheorie • Kubo-Theorie der linearen Antwort • Landauer-Büttiker-Transporttheorie • Greens-Funktionsmethoden • Quantentransport in Quantendots (Anderson-Modell, Coulomb-Blockade)
Lehr- und Lernformen	• Nonequilibrium Quantum Statistics and Transport Theory (V): 4 SWS • Exercises in Nonequilibrium Quantum Statistics and Transport Theory (Ü): 2 SWS
Unterrichtssprache	Englisch
Voraussetzungen für die Teilnahme	Verbindlich: Keine Empfohlen: Keine
Modulabschluss	Voraussetzungen zur Modulprüfung: Keine Art der Modulprüfung: Klausur oder mündliche Prüfung (benotet) Prüfungssprache: Englisch Abweichungen werden vor Beginn der Lehrveranstaltung bekannt gegeben.
Arbeitsaufwand in den einzelnen Modulteilern	• Nonequilibrium Quantum Statistics and Transport Theory (V): 6 LP • Exercises in Nonequilibrium Quantum Statistics and Transport Theory (Ü): 2 LP
Gesamtarbeitsaufwand des Moduls	8 LP
Dauer	Ein Semester
Häufigkeit des Angebots	Sommersemester (unregelmäßig)

Modultyp	Wahlpflichtmodul
Titel	Quantum Statistics with Path Integrals
Sigle	PHY-MV-T407
Qualifikationsziele	Nach erfolgreichem Abschluss des Moduls können die Studierenden Pfadintegralmethoden zur Beschreibung von Quantenvielteilchensystemen anwenden, Gleichgewichts- und Nichtgleichgewichtsdynamiken modellieren, Relaxations- und Dekohärenzprozesse analysieren sowie theoretische und numerische Methoden zur Behandlung offener Quantensysteme einsetzen.
Inhalte	• Quantenstatistik mit Pfadintegralen • Feynman-Pfadintegral (Real- und Imaginärzeit) • Zweite Quantisierung • Kohärente Zustände für Bosonen und Fermionen • Pfadintegrale für Quantenvielteilchensysteme • Erzeugende Funktionale • Offene Quantensysteme und System-Bad-Modelle • Nichtgleichgewichts-Pfadintegrale (Relaxation, Dekohärenz) • Feynman-Vernon-Influenzfunktional • Dissipativer quantenmechanischer harmonischer Oszillator • Fluktuations-Dissipations-Theorem • Spin-Boson-Modell • Numerische exakte Methoden
Lehr- und Lernformen	• Quantum Statistics with Path Integrals (V): 4 SWS • Exercises in Quantum Statistics with Path Integrals (Ü): 2 SWS
Unterrichtssprache	Englisch
Voraussetzungen für die Teilnahme	Verbindlich: Keine Empfohlen: Keine
Modulabschluss	Voraussetzungen zur Modulprüfung: Keine Art der Modulprüfung: Klausur oder mündliche Prüfung (benotet) Prüfungssprache: Englisch Abweichungen werden vor Beginn der Lehrveranstaltung bekannt gegeben.
Arbeitsaufwand in den einzelnen Modulteilern	• Quantum Statistics with Path Integrals (V): 6 LP • Exercises in Quantum Statistics with Path Integrals (Ü): 2 LP
Gesamtarbeitsaufwand des Moduls	8 LP
Dauer	Ein Semester
Häufigkeit des Angebots	i. d. R. alle zwei Jahre im Sommersemester

Modultyp	Wahlpflichtmodul
Titel	Symmetry Groups in Physics
Sigle	PHY-MV-T409
Qualifikationsziele	Nach erfolgreichem Abschluss des Moduls sind die Studierenden in der Lage, mathematische Konzepte der Gruppentheorie und Darstellungstheorie in verschiedenen physikalischen Kontexten zu erkennen und physikalische Systeme entsprechend zu beschreiben und zu analysieren. Die Studierenden können diese Konzepte zur Lösung typischer Probleme, z. B. in der Quantenmechanik und der Vielteilchentheorie, anwenden. Die Studierenden verfügen über einen stärker vereinheitlichten Blick auf die theoretische Physik.
Inhalte	• Symmetriekonzepte in der Physik • Grundlegende Konzepte der Gruppentheorie • Symmetriegruppen in der klassischen und der Quantenmechanik • Diskrete Gruppen und Anwendungen in Geometrie und Festkörpertheorie • Gruppenwirkungen und Darstellungstheorie • Topologische Gruppen, Lie-Gruppen und Lie-Algebren • Anwendungen in der Quantentheorie von Vielteilchensystemen
Lehr- und Lernformen	• Symmetry Groups in Physics (V): 4 SWS • Exercises in Symmetry Groups in Physics (Ü): 2 SWS
Unterrichtssprache	Englisch oder Deutsch
Voraussetzungen für die Teilnahme	Verbindlich: Keine Empfohlen: Theoretische Physik I (B.Sc.), Theoretische Physik II (B.Sc.)
Modulabschluss	Voraussetzungen zur Modulprüfung: Keine Art der Modulprüfung: Klausur oder mündliche Prüfung (benotet) Prüfungssprache: Englisch oder Deutsch Abweichungen werden vor Beginn der Lehrveranstaltung bekannt gegeben.
Arbeitsaufwand in den einzelnen Modulteilern	• Symmetry Groups in Physics (V): 6 LP • Exercises in Symmetry Groups in Physics (Ü): 2 LP
Gesamtarbeitsaufwand des Moduls	8 LP
Dauer	Ein Semester
Häufigkeit des Angebots	i. d. R. alle zwei Jahre

Modultyp	Wahlpflichtmodul
Titel	Experimental Quantum Information Processing
Sigle	PHY-MV-E501
Qualifikationsziele	Nach erfolgreichem Abschluss des Moduls sind die Studierenden in der Lage, grundlegende Quantenlogikgatter und deren experimentelle Realisierung auf verschiedenen Hardwareplattformen zu erläutern. Sie können die Dynamik von Zwei- und Mehrniveausystemen modellieren, Übergangswahrscheinlichkeiten berechnen und die Auswirkungen von Dekohärenz und Messprozessen analysieren. Darüber hinaus sind sie befähigt, zentrale experimentelle Bausteine der Quanteninformationsverarbeitung kritisch zu bewerten und für konkrete Anwendungen auszuwählen.
Inhalte	• Qubits, Repräsentation und Quantengatter • Grundlagen atomarer, molekularer und optischer Prozesse (AMO) • Mehrniveau-Quantensysteme • Offene Quantensysteme • Dekohärenz und Messung • Farbzentren • Gefangene Ionen • Supraleitende Qubits • Neutrale Atome
Lehr- und Lernformen	• Experimental Quantum Information Processing (V): 2 SWS • Exercises in Experimental Quantum Information Processing (Ü): 2 SWS
Unterrichtssprache	Englisch
Voraussetzungen für die Teilnahme	Verbindlich: Keine Empfohlen: Keine
Modulabschluss	Voraussetzungen zur Modulprüfung: Keine Art der Modulprüfung: Klausur oder mündliche Prüfung (benotet) Prüfungssprache: Englisch Abweichungen werden vor Beginn der Lehrveranstaltung bekannt gegeben.
Arbeitsaufwand in den einzelnen Modulteilern	• Experimental Quantum Information Processing (V): 3 LP • Exercises in Experimental Quantum Information Processing(Ü): 2 LP
Gesamtarbeitsaufwand des Moduls	5 LP
Dauer	Ein Semester
Häufigkeit des Angebots	Jährlich im Wintersemester

Modultyp	Wahlpflichtmodul
Titel	Gravitational-Wave Detection
Sigle	PHY-MV-E502
Qualifikationsziele	Nach erfolgreichem Abschluss des Moduls können die Studierenden die physikalischen Grundlagen der Entstehung und Ausbreitung von Gravitationswellen erläutern, die Funktionsweise von Gravitationswellendetektoren auf Basis resonanter Massen und Laserinterferometer beschreiben, Transferfunktionen und fundamentale Rauschquellen und Sensitivitätsgrenzen berechnen sowie zukünftige Verbesserungsmöglichkeiten bewerten.
Inhalte	- Eigenschaften von Gravitationswellen - Methoden zur Gravitationswellenmessung - Schwingungsmoden von Festkörpern und Suszeptibilität - Fluktuations-Dissipations-Theorem - Spektrale Rauschdichten und thermisches Rauschen - Laserinterferometrie - Schrotrauschen und Strahlungsdruckrauschen - Quantum-Non-Demolition-Messungen - Die erste Messung von Gravitationswellen - Quellen von Gravitationswellen (Versmelzungen von Schwarzen Löchern und Neutronensternen) - LIGO und zukünftige Gravitationswellendetektoren - Seismische Isolation und Inertialsensoren - LISA-Mission - Heterodyne Interferometrie und Niederfrequenzmodulation - Simulation und Modellierung von Detektoren
Lehr- und Lernformen	- Gravitationswellendetektion (V): 4 SWS - Übungen zu Gravitationswellendetektion (Ü): 2 SWS
Unterrichtssprache	Englisch oder Deutsch, i.d.R. Deutsch
Voraussetzungen für die Teilnahme	Verbindlich: Keine Empfohlen: Keine
Modulabschluss	Voraussetzungen zur Modulprüfung: Keine Art der Modulprüfung: Mündliche Prüfung (benotet) Prüfungssprache: Englisch oder Deutsch Abweichungen werden vor Beginn der Lehrveranstaltung bekannt gegeben.
Arbeitsaufwand in den einzelnen Modulteilen	- Gravitational-Wave Detection (V): 6 LP - Exercises in Gravitational-Wave Detection (Ü): 2 LP
Gesamtarbeitsaufwand des Moduls	8 LP
Dauer	Ein Semester
Häufigkeit des Angebots	Jährlich im Sommersemester

Modultyp	Wahlpflichtmodul
Titel	Light Fields and Quantum Correlations
Sigle	PHY-MV-E504
Qualifikationsziele	Nach erfolgreichem Abschluss des Moduls können die Studierenden die zentralen Konzepte der Quantenoptik inklusive Quantenkorrelationen im Allgemeinen erläutern, grundlegende Experimente zur Erzeugung und Messung quantenkorrelierter Lichtzustände beschreiben, quantenmechanische Verschränkung analysieren sowie Anwendungen wie Quantenteleportation, Quantenkryptographie und optisches Quantencomputing physikalisch einordnen.
Inhalte	• Welle-Teilchen-Dualismus • Einstein-Podolsky-Rosen-Gedankenexperiment • Bell'sche Ungleichungen und experimentelle Tests • Erzeugung gequetschter Zustände und Fock-Zustände • Quantenkorrelationen und Verschränkung • Hong-Ou-Mandel-Effekt • Quantenteleportation • Quantenkryptographie • Schrödinger-Katzen-Zustände • Optisches Quantencomputing
Lehr- und Lernformen	• Light Fields and Quantum Correlations (V): 4 SWS • Exercises in Light Fields and Quantum Correlations (Ü): 2 SWS
Unterrichtssprache	Englisch oder Deutsch, i.d.R. Deutsch
Voraussetzungen für die Teilnahme	Verbindlich: Keine Empfohlen: Grundkenntnisse der Quantenmechanik und Laserphysik
Modulabschluss	Voraussetzungen zur Modulprüfung: Keine Art der Modulprüfung: Mündliche Prüfung (benotet) Prüfungssprache: Englisch oder Deutsch, i.d.R. Deutsch Abweichungen werden vor Beginn der Lehrveranstaltung bekannt gegeben.
Arbeitsaufwand in den einzelnen Modulteilern	• Light Fields and Quantum Correlations (V): 6 LP • Exercises in Light Fields and Quantum Correlations (Ü): 2 LP
Gesamtarbeitsaufwand des Moduls	8 LP
Dauer	Ein Semester
Häufigkeit des Angebots	i. d. R. jährlich im Wintersemester

Modultyp	Wahlpflichtmodul
Titel	Quantum Simulation with Neutral Atoms
Sigle	PHY-MV-E505
Qualifikationsziele	Nach erfolgreichem Absolvieren des Moduls haben die Studierenden einen Überblick über die wesentlichen aktuellen wissenschaftlichen Entwicklungen auf dem Gebiet der Quantensimulation mit neutralen Atomen. Sie können die Realisierbarkeit von Quantensimulationsexperimenten basierend auf den Eigenschaften von Atomen abschätzen und Funktionsweise aktueller Experimente erklären. Studierende werden vorbereitet auf experimentelle und theoretische Masterarbeiten in dem Gebiet und können sich in aktuelle Entwicklungen mit Hilfe von Publikationen einlesen.
Inhalte	• Wiederholung der Atomphysik für Anwendungen in der Quantensimulation • Quantensimulationsplattformen mit neutralen Atomen • Ultrakalte Gase • Ultrakalte Atome in optischen Gittern • Rydbergatome in optischen Pinzetten • Modellsysteme für Quantensimulation • Spinmodelle und Hubbard-Modelle
Lehr- und Lernformen	• Quantum Simulation with Neutral Atoms (V): 4 SWS • Exercises in Quantum Simulation with Neutral Atoms (Ü): 2 SWS
Unterrichtssprache	Englisch oder Deutsch
Voraussetzungen für die Teilnahme	Verbindlich: Keine Empfohlen: Keine
Modulabschluss	Voraussetzungen zur Modulprüfung: Keine Art der Modulprüfung: Klausur oder mündliche Prüfung (benotet) Prüfungssprache: Englisch oder Deutsch Abweichungen werden vor Beginn der Lehrveranstaltung bekannt gegeben.
Arbeitsaufwand in den einzelnen Modulteilern	• Quantum Simulation with Neutral Atoms (V): 6 LP • Exercises in Quantum Simulation with Neutral Atoms (Ü): 2 LP
Gesamtarbeitsaufwand des Moduls	8 LP
Dauer	Ein Semester
Häufigkeit des Angebots	Jährlich im Wintersemester

Modultyp	Wahlpflichtmodul
Titel	Ultracold Quantum Gases
Sigle	PHY-MV-E506
Qualifikationsziele	Nach erfolgreichem Abschluss des Moduls können die Studierenden zentrale physikalische Konzepte ultrakalter Quantengase sicher erläutern, experimentelle und theoretische Methoden zur Erzeugung, Detektion und Kontrolle von Bose- und Fermigasen angemessen auswählen und anwenden, Messdaten aus Experimenten mit ultrakalten Quantengasen auswerten und kritisch beurteilen sowie wissenschaftliche Originalarbeiten zu aktuellen Forschungsthemen selbstständig verstehen und einordnen.
Inhalte	• Grundlagen der Bose-Einstein-Kondensation • Quantenstatistik und theoretische Grundlagen • Experimentelle Techniken und Laserkühlung • Erzeugung und Nachweis von Bose-Einstein-Kondensaten • Elementare Anregungen in Quantengasen • Optische Gitter und Quantensimulation • Quantenphasen in optischen Gittern • Quantengasmikroskopie • Künstliche Eichfelder für neutrale Atome • Harper-Hofstadter-Modell • Grundlagen entarteter Fermigase • Feshbach-Resonanzen • BCS-Theorie und stark wechselwirkende Fermigase • BEC-BCS-Übergang
Lehr- und Lernformen	• Ultracold Quantum Gases (V): 4 SWS • Exercises in Ultracold Quantum Gases (Ü): 2 SWS
Unterrichtssprache	Englisch oder Deutsch
Voraussetzungen für die Teilnahme	Verbindlich: Keine Empfohlen: Keine
Modulabschluss	Voraussetzungen zur Modulprüfung: Keine Art der Modulprüfung: Klausur oder mündliche Prüfung (benotet) Prüfungssprache: Englisch oder Deutsch Abweichungen werden vor Beginn der Lehrveranstaltung bekannt gegeben.
Arbeitsaufwand in den einzelnen Modulteilen	• Ultracold Quantum Gases (V): 6 LP • Exercises in Ultracold Quantum Gases (Ü): 2 LP
Gesamtarbeitsaufwand des Moduls	8 LP
Dauer	Ein Semester
Häufigkeit des Angebots	Jährlich im Wintersemester

Modultyp	Wahlpflichtmodul
Titel	Quantum Technology I
Sigle	PHY-MV-T501
Qualifikationsziele	Nach erfolgreichem Abschluss des Moduls verstehen die Studierenden die physikalischen Grundlagen moderner Quantentechnologieplattformen. Sie sind in der Lage, die Dynamik von Zwei- und Mehrzustandssystemen zu analysieren, Quantenmessprozesse und Verschränkung zu beschreiben sowie dissipative Effekte zu modellieren. Darüber hinaus können sie grundlegende Konzepte der Quantenkryptografie, Quantenalgorithmen sowie atomare und photonische Implementierungen einordnen.
Inhalte	• Zwei- und few-Level-Systeme • Rabi-Dynamik, Qubits und Quantengatter • Quantenmessung und Verschränkung • Zweite Quantisierung und photonische Zustände • Interferometrie • Quantenkryptographie und Teleportation • Dissipative Quantendynamik • Cavity-QED • Einführung in Quantenalgorithmen • Atomare Systeme und Rydberg-Zustände • Ionensysteme
Lehr- und Lernformen	• Quantum Technology I (V): 4 SWS • Exercises in Quantum Technology I (Ü): 2 SWS
Unterrichtssprache	Englisch
Voraussetzungen für die Teilnahme	Verbindlich: Keine Empfohlen: Keine
Modulabschluss	Voraussetzungen zur Modulprüfung: Keine Art der Modulprüfung: Mündliche Prüfung (benotet) Prüfungssprache: Englisch oder Deutsch Abweichungen werden vor Beginn der Lehrveranstaltung bekannt gegeben.
Arbeitsaufwand in den einzelnen Modulteilern	• Quantum Technology I (V): 6 LP • Exercises in Quantum Technology I (Ü): 2 LP
Gesamtarbeitsaufwand des Moduls	8 LP
Dauer	Ein Semester
Häufigkeit des Angebots	Jährlich im Wintersemester

Modultyp	Wahlpflichtmodul
Titel	Quantum Technology II
Sigle	PHY-MV-T502
Qualifikationsziele	Nach erfolgreichem Abschluss des Moduls verstehen die Studierenden die physikalischen Grundlagen und Implementierungskonzepte festkörperbasierter Quantentechnologieplattformen. Sie können supraleitende Qubits, circuit QED, halbleiterbasierte Quantensysteme und topologische Konzepte einordnen sowie Methoden zur Erzeugung verschränkter Photonen beschreiben. Darüber hinaus besitzen sie grundlegende Kenntnisse moderner Fehlerkorrekturverfahren wie Surface Codes.
Inhalte	• Einführung in Supraleitung • Supraleitende Qubits und Circuit QED • Halbleiterbasiertes Quantencomputing und Quantendots • Optisches Quantencomputing und verschränkte Photonen • Majorana-Nanodrähte • Topologisches Quantencomputing • Surface Codes
Lehr- und Lernformen	• Quantum Technology II (V): 4 SWS • Exercises in Quantum Technology II (Ü): 2 SWS
Unterrichtssprache	Englisch
Voraussetzungen für die Teilnahme	Verbindlich: Keine Empfohlen: Keine
Modulabschluss	Voraussetzungen zur Modulprüfung: Keine Art der Modulprüfung: Mündliche Prüfung (benotet) Prüfungssprache: Englisch oder Deutsch Abweichungen werden vor Beginn der Lehrveranstaltung bekannt gegeben.
Arbeitsaufwand in den einzelnen Modulteilern	• Quantum Technology II (V): 6 LP • Exercises in Quantum Technology II (Ü): 2 LP
Gesamtarbeitsaufwand des Moduls	8 LP
Dauer	Ein Semester
Häufigkeit des Angebots	Jährlich im Sommersemester

Modultyp	Wahlpflichtmodul
Titel	Quantum Computing and Information
Sigle	PHY-MV-T503
Qualifikationsziele	Ein detailliertes Verständnis der physikalischen Eigenschaften und Modelle von Qubits und Quantenregistern entwickeln. Erlernen der Beschreibung reversibler Quantenoperationen auf Quantenregistern mithilfe von Quantenschaltkreisen sowie der Universalität von Ein- und Zwei-Qubit-Gattern. Erwerb fundierter Kenntnisse der Standard-Quantenalgorithmen und ihrer Funktionsprinzipien. Verständnis der Gründe, warum ihnen ein quantenmechanischer Vorteil gegenüber klassischen Algorithmen zugeschrieben wird. Verständnis der Grundlagen von Protokollen der Quanteninformationsverarbeitung und der Nutzung von Superposition und Verschränkung zur Überlegenheit gegenüber klassischen Verfahren. Entwicklung eines physikalischen Verständnisses dafür, wie die Quantenmechanik den lokalen Realismus verletzt und wie dies die Grundlage für nicht-intuitive physikalische Beobachtungen in der Quantenwelt bildet. Verständnis realer Beispiele von Quantencomputern hinsichtlich der Präparation, Initialisierung, Messung sowie der Durchführung von Ein- und Zwei-Qubit-Operationen anhand von mindestens zwei Plattformen (supraleitende Qubits und Rydberg-Atome als Qubits). Verständnis der Vor- und Nachteile verschiedener Quantenhardwareplattformen sowie Fähigkeit zur Bewertung experimenteller Fortschritte der letzten Jahre. Erwerb eines Verständnisses dafür, wie Quantenkanäle zur einheitlichen Beschreibung von Quantenprozessen einschließlich unitärer Zeitentwicklung, Dekohärenz und verallgemeinerter Messungen verwendet werden können. Studium der Grundlagen der Quantenfehlerkorrektur und des fehlertoleranten Quantenrechnens sowie Einschätzung, wie Anforderungen an Fehlertoleranz in naher Zukunft durch Quantenhardware erfüllt werden könnten. Entwicklung grundlegender Fähigkeiten in der Quantenprogrammierung, z. B. mit der Open-Source-Softwareplattform QISKIT. Durchführung exemplarischer Algorithmen auf Quantenhardware oder entsprechenden klassischen Simulatoren zur Einschätzung der aktuellen Leistungsfähigkeit von Quantenhardware.
Inhalte	Quantumcomputing verspricht eine Revolution in der Art und Weise, wie Berechnungen und Simulationen durchgeführt werden. Es vereint Expertise aus der Physik mit Informations- und Informatikwissenschaften zur Entwicklung neuartiger Rechenparadigmen. Quantumcomputing ist eines der aktivsten Forschungsfelder innerhalb der Quantentechnologien. Die Lehrveranstaltung behandelt umfassend die Grundpfeiler des Quantumcomputings und der Quanteninformatik aus theoretischer Perspektive und diskutiert einige der vielversprechendsten Plattformen zum Aufbau von Quantencomputern. Der Kurs ist in vier theoretische Teile sowie einen experimentellen Teil gegliedert und umfasst folgende Themen: Teil 1 Grundlagen: Physikalische Modellierung und Eigenschaften von Qubits; Spuren und gemischte Zustände; Ein- und Zwei-Qubit-Gatter, Quantenschaltkreise; Photonen als Quantenplattform; universelle Gattersätze; Quantenmessung; Verschränkungsmaße. Teil 2 Quantenalgorithmen: Quantenparallelismus, Orakel, Phase-Kickback-Methode; Deutsch-Jozsa-Algorithmus; Quanten-Fourier-Transformation; Quantenphasenschätzung; Shors Faktorisierungsalgorithmus; Grovers Suchalgorithmus.

Inhalte	Teil 3 Quanteninformation: Grundlagen der klassischen und quantenmechanischen Informationstheorie; Quantenkanäle; Bell-Ungleichungen und GHZ-Zustände; Quantenkommunikations- und Kryptographieprotokolle. Teil 4 Fehlerkorrektur: Einzel-Qubit-Fehler; Shor- und Steane-Code; Einführung in Stabilisatoren und CSS-Codes; Grundlagen des fehlertoleranten Quantenrechnens. Teil Experiment: Quantisierung des Lichtfeldes; Wechselwirkung einzelner Photonen mit einzelnen Atomen (Jaynes-Cummings-Modell); supraleitende Qubits und Rydberg-Atome als exemplarische Quantencomputer-Hardwareplattformen; Vor- und Nachteile verschiedener Hardwareplattformen. Die begleitenden Übungen zur Vorlesung umfassen QISKIT-Programmierung, die Bearbeitung grundlegender Publikationen sowie grundlegende Problemlösungsstrategien.
Lehr- und Lernformen	• Quantum Computing and Information (V): 4 SWS • Exercises in Quantum Computing and Information (Ü): 2 SWS
Unterrichtssprache	Englisch
Voraussetzungen für die Teilnahme	Verbindlich: Keine Empfohlen: Kenntnisse in Quantenoptik und Atomphysik
Modulabschluss	Voraussetzungen zur Modulprüfung: Keine Art der Modulprüfung: Mündliche Prüfung (benotet) Prüfungssprache: Englisch oder Deutsch Abweichungen werden vor Beginn der Lehrveranstaltung bekannt gegeben.
Arbeitsaufwand in den einzelnen Modulteilern	• Quantum Computing and Information (V): 6 LP • Exercises in Quantum Computing and Information (Ü): 2 LP
Gesamtarbeitsaufwand des Moduls	8 LP
Dauer	Ein Semester
Häufigkeit des Angebots	Jährlich im Sommersemester

Modultyp	Wahlpflichtmodul
Titel	Quantum Computing and Information II
Sigle	PHY-MV-T504
Qualifikationsziele	Ein detailliertes Verständnis der konzeptionellen Struktur fehlerkorrigierender Quanten-Codes entwickeln. Erlernen der Anwendung des Stabilisatorformalismus zur Beschreibung und Analyse fehlerkorrigierender Codes. Studium der wichtigsten Klassen moderner fehlerkorrigierender Codes sowie Identifikation ihrer zentralen Vorteile und Nachteile. Untersuchung der Grundlagen der Dekodierung fortgeschrittener fehlerkorrigierender Quanten-Codes. Entwicklung eines fundierten Verständnisses der Anforderungen und Herausforderungen bei der Realisierung fehlertoleranter universeller Quantencomputing-Plattformen. Erwerb eines umfassenden Überblicks über den aktuellen Stand der Forschung im Bereich der Quantenfehlerkorrektur. Verständnis der Einschränkungen aktueller Hardwareplattformen, ihrer Imperfektionen sowie der zur Beschreibung verwendeten Fehlermodelle. Erlernen der Fähigkeit, aktuelle Forschungsliteratur im Bereich der Quantenfehlerkorrektur zu lesen, einzuordnen und kritisch zu bewerten.
Inhalte	Quantencomputing befindet sich derzeit im Übergang von der Ära verrauschter Quantenprozessoren mittlerer Größe (Noisy Intermediate-Scale Quantum, NISQ) hin zu universellen, skalierbaren und fehlertoleranten Quantencomputing-Plattformen. Aufbauend auf den Grundlagen des Quantencomputings, die in der Vorlesung Quantum Computing and Information I behandelt wurden, widmet sich diese theoretische Lehrveranstaltung detailliert Methoden der Quantenfehlerkorrektur und der Fehlertoleranz. Der Kurs ist in vier Teile gegliedert, die folgende Themen abdecken: Teil 1 Grundlagen: Einführung in die klassische Fehlerkorrektur; verallgemeinerte Messungen und POVMs; Kraus-Operatoren und Quantenkanäle. Teil 2 Fehlerkorrigierende Quanten-Codes: Fehlerkorrektur als Quantenkanäle, Knill-Laflamme-Bedingung; Bit-Flip- und Phase-Flip-Codes; Shor- und Steane-Fehlerkorrekturcodes; Stabilisatoren und Stabilisatorcodes, CSS-Codes; Surface-Codes und torische Codes, Farb-Codes; LDPC-Codes und Quanten-LDPC-Codes. Teil 3 Dekodierung und Fehlertoleranz: Dekodieralgorithmen: Peeling- und Belief-Propagation-Verfahren, stochastische Dekodierung; fehlertolerante Quantengatter: transversale Gatter; Magic-State-Destillation und -Injektion, Lattice Surgery; Fehlertoleranzschwellen und Skalierung des Ressourcenaufwands. Teil 4 Spezielle Themen: Der letzte Teil des Kurses führt in ausgewählte spezielle und/oder Nischenthemen von aktuellem Interesse ein und kann sich von Jahr zu Jahr ändern. Beispielsweise können dekohärenzfreie Unterräume, dynamische Entkopplung, Heralding-Techniken oder Quantenfehlerminderung behandelt werden. Anhand konkreter Beispiele wird diskutiert, wie solche Techniken in aktuellen Experimenten eingesetzt werden.
Lehr- und Lernformen	- Quantum Computing and Information II (V): 4 SWS - Exercises in Quantum Computing and Information II (Ü): 2 SWS
Unterrichtssprache	Englisch

Voraussetzungen für die Teilnahme	Verbindlich: Quantum computing and information I Empfohlen: Kenntnisse von Plattformen für optische Quantentechnologie
Modulabschluss	Voraussetzungen zur Modulprüfung: Keine Art der Modulprüfung: Mündliche Prüfung (benotet) Prüfungssprache: Englisch oder Deutsch Abweichungen werden vor Beginn der Lehrveranstaltung bekannt gegeben.
Arbeitsaufwand in den einzelnen Modulteilern	• Quantum Computing and Information II (V): 6 LP • Exercises in Quantum Computing and Information II (Ü): 2 LP
Gesamtarbeitsaufwand des Moduls	8 LP
Dauer	Ein Semester
Häufigkeit des Angebots	Jährlich im Wintersemester

Modultyp	Wahlpflichtmodul
Titel	Fundamental Concepts of Optics: From Optical Light to X-rays
Sigle	PHY-MV-E601
Qualifikationsziele	Nach erfolgreichem Abschluss des Moduls sind die Studierenden in der Lage, grundlegende optische Konzepte wie Strahlenoptik, Beugung, Interferenz, Kohärenz und Fourieroptik quantitativ anzuwenden. Sie können die Leistungsfähigkeit moderner photonischer Bildgebungsverfahren im optischen und Röntgenbereich analysieren und vergleichen. Darüber hinaus sind sie befähigt, geeignete Bildgebungsmethoden für konkrete experimentelle Fragestellungen auszuwählen und deren physikalische Grenzen kritisch zu bewerten.
Inhalte	Grundlagen der Optik: • Wechselwirkung von Photonen mit Materie • Strahlverfolgung und geometrische Optik • Interferenz und Beugung • Fourier-Optik • Kohärenz Studierendenprojekte: • Moderne Holographie (optisch und Röntgen) • Optische Superauflösungsmikroskopie • Dunkelfeld- und Polarisationsmikroskopie • Optische Kohärenztomographie • Kohärente 3D-Röntgenbildgebung • Röntgenfluoreszenz-Bildgebung • Zeitaufgelöste Röntgendiffraktion • Erweiterte Bildgebungsmethoden • Projektbasierte Bildgebungsanwendungen
Lehr- und Lernformen	• Fundamental Concepts of Optics: From Optical Light to X-rays (V): 4 SWS • Exercises in Fundamental Concepts of Optics: From Optical Light to X-rays (Ü): 2 SWS
Unterrichtssprache	Englisch oder Deutsch
Voraussetzungen für die Teilnahme	Verbindlich: Keine Empfohlen: Keine
Modulabschluss	Voraussetzungen zur Modulprüfung: Erfolgreiche Erbringung von Studienleistungen (Übungen und Vortrag) Art der Modulprüfung: Mündliche Prüfung (benotet) Prüfungssprache: Englisch oder Deutsch Abweichungen werden vor Beginn der Lehrveranstaltung bekannt gegeben.
Arbeitsaufwand in den einzelnen Modulteilern	• Fundamental Concepts of Optics: From Optical Light to X-rays (V): 6 LP • Exercises in Fundamental Concepts of Optics: From Optical Light to X-rays (Ü): 2 LP
Gesamtarbeitsaufwand des Moduls	8 LP
Dauer	Ein Semester
Häufigkeit des Angebots	Jährlich im Wintersemester

Modultyp	Wahlpflichtmodul
Titel	Light-Matter-Interactions: Atoms, Molecules & (Non) Linear Optics
Sigle	PHY-MV-E603
Qualifikationsziele	Nach erfolgreichem Abschluss des Moduls können die Studierenden Linienbreiten, Lebensdauern und Polarisationsphänomene in atomaren und molekularen Spektren analysieren, verschiedene Linienverbreiterungsmechanismen unterscheiden, geeignete spektroskopische Messmethoden auswählen und experimentelle Ergebnisse für optische und Röntgenübergänge interpretieren.
Inhalte	- Bohrmodell und klassische Linienformen - Emission und Absorption von Strahlung - Thermisches Gleichgewicht und Einstein-Koeffizienten - Laser-Grundlagen - Linienbreite und Linienform - Moderne spektroskopische Methoden - Messtechniken für Strahlung - Optische und Röntgenübergänge (Fermis Goldene Regel) - Erzeugungsprinzipien der Synchrotronstrahlung
Lehr- und Lernformen	- Light-Matter-Interactions: Atoms, Molecules & (Non) Linear Optics (V): 2 SWS - Exercises in Light-Matter-Interactions: Atoms, Molecules & (Non) Linear Optics (Ü): 1 SWS
Unterrichtssprache	Englisch oder Deutsch
Voraussetzungen für die Teilnahme	Verbindlich: Keine Empfohlen: Keine
Modulabschluss	Voraussetzungen zur Modulprüfung: Keine Art der Modulprüfung: Mündliche Prüfung (benotet) Prüfungssprache: Englisch oder Deutsch Abweichungen werden vor Beginn der Lehrveranstaltung bekannt gegeben.
Arbeitsaufwand in den einzelnen Modulteilern	- Light-Matter-Interactions: Atoms, Molecules & (Non) Linear Optics (V): 3 LP - Exercises in Light-Matter-Interactions: Atoms, Molecules & (Non) Linear Optics (Ü): 1 LP
Gesamtarbeitsaufwand des Moduls	4 LP
Dauer	Ein Semester
Häufigkeit des Angebots	Jährlich im Sommersemester

Modultyp	Wahlpflichtmodul
Titel	Methods of Modern X-ray Physics – Spectroscopy
Sigle	PHY-MV-E604
Qualifikationsziele	Nach erfolgreichem Abschluss des Moduls haben Studierende die Grundlagen moderner Röntgenphysik erarbeitet. Sie kennen die Einführung in die Thematik aber auch die Anwendungen von Röntgenstrahlung zur Untersuchung verschiedenster Systeme. Studierende haben ein fundiertes Fachwissen erlangt, um eine experimentelle Masterarbeit auf dem Gebiet der Wechselwirkung von Röntgenstrahlung mit Materie erfolgreich zu absolvieren.
Inhalte	Dazu gehört eine Einführung in die Thematik aber auch die Anwendungen von Röntgenstrahlung zur Untersuchung verschiedenster Systeme • Wechselwirkung von Röntgenstrahlung mit Materie • Absorption, Streuung, Auger-Meitner Effekt, Harte- und weiche Röntgenstrahlung • Beschleunigerbasierte Quellen für Röntgenstrahlung: Synchrotronstrahlung und Freie Elektronen Laser • Experimentelle spektroskopische Methoden • Röntgenoptik: Optische Materialien, EUV Lithographie, Ray-Tracing • Anwendung von Röntgenstrahlung • Kleine Quantensysteme, Oberflächen und Festkörper
Lehr- und Lernformen	• Methods of Modern X-ray Physics – Spectroscopy (V): 4 SWS • Exercises in Methods of Modern X-ray Physics – Spectroscopy (Ü): 2 SWS
Unterrichtssprache	Englisch oder Deutsch
Voraussetzungen für die Teilnahme	Verbindlich: Keine Empfohlen: Keine
Modulabschluss	Voraussetzungen zur Modulprüfung: Keine Art der Modulprüfung: Klausur oder mündliche Prüfung (benotet) Prüfungssprache: Englisch oder Deutsch Abweichungen werden vor Beginn der Lehrveranstaltung bekannt gegeben.
Arbeitsaufwand in den einzelnen Modulteilern	• Methods of Modern X-ray Physics – Spectroscopy (V): 6 LP • Exercises in Methods of Modern X-ray Physics – Spectroscopy (Ü): 2 LP
Gesamtarbeitsaufwand des Moduls	8 LP
Dauer	Ein Semester
Häufigkeit des Angebots	Jährlich im Wintersemester

Modultyp	Wahlpflichtmodul
Titel	New Experiments with XFEL Sources
Sigle	PHY-MV-E605
Qualifikationsziele	Nach erfolgreichem Abschluss des Moduls können die Studierenden die physikalischen Grundlagen der FEL-Erzeugung erläutern, ultraschnelle Messmethoden beschreiben und anwenden, aktuelle XFEL-Experimente analysieren sowie eigene experimentelle Konzepte für XFEL-basierte Untersuchungen entwickeln und bewerten.
Inhalte	• Spektroskopie und Streuung mit intensiver Röntgenstrahlung • Anwendungen in Atomphysik, Femtosekunden-Molekülphysik und Plasmaphysik • Grundlagen der FEL-Erzeugung • Ultraschnelle Zeitbestimmung zwischen unabhängigen Lichtquellen • Röntgenoptiken und Linsen • Röntgenemissionsspektroskopie • Detektorsysteme für XFEL-Experimente
Lehr- und Lernformen	• New Experiments with XFEL Sources (V): 2 SWS • Exercises in New Experiments with XFEL Sources (Ü): 1 SWS
Unterrichtssprache	Englisch oder Deutsch
Voraussetzungen für die Teilnahme	Verbindlich: Keine Empfohlen: Keine
Modulabschluss	Voraussetzungen zur Modulprüfung: Keine Art der Modulprüfung: Klausur oder mündliche Prüfung (benotet) Prüfungssprache: Englisch oder Deutsch Abweichungen werden vor Beginn der Lehrveranstaltung bekannt gegeben.
Arbeitsaufwand in den einzelnen Modulteilern	• New Experiments with XFEL Sources (V): 3 LP • Exercises in New Experiments with XFEL Sources (Ü): 1 LP
Gesamtarbeitsaufwand des Moduls	4 LP
Dauer	Ein Semester
Häufigkeit des Angebots	Jährlich im Sommersemester

Modultyp	Wahlpflichtmodul
Titel	Nonlinear Optics
Sigle	PHY-MV-E606
Qualifikationsziele	Nach erfolgreichem Abschluss des Moduls sind die Studierenden in der Lage, zentrale nichtlineare optische Prozesse quantitativ zu beschreiben und anzuwenden. Sie können Frequenzkonversionsprozesse, parametrische Verstärker und nichtlineare Messmethoden modellieren, simulieren und für konkrete Anwendungen auslegen. Darüber hinaus sind sie befähigt, Effekte höherer Ordnung und Starkfeld-Phänomene physikalisch zu interpretieren und kritisch zu bewerten.
Inhalte	• Nichtlineare optische Konzepte und Symmetrien • Nichtlineare Wellengleichung • Erzeugung der zweiten Harmonischen • Phasenanpassung und Quasi-Phasenanpassung • Optische Gleichrichtung • Manley-Rowe-Beziehungen • Summen- und Differenzfrequenzerzeugung • Optische parametrische Verstärkung • Ultraschnelle optische parametrische Verstärkung • Nichtlineare Effekte dritter Ordnung • Erzeugung der dritten Harmonischen • Kerr-Effekt • Selbstphasenmodulation und Selbstfokussierung • Stimulierte Raman- und Brillouin-Streuung • Optische Solitonen • Extreme nichtlineare Optik (Carrier-Wave-Rabi-Flopping, Oberwellenerzeugung höherer Ordnung) • Starkfeldphysik in Festkörpern
Lehr- und Lernformen	• Nonlinear Optics (V): 4 SWS • Exercises in Nonlinear Optics (Ü): 2 SWS
Unterrichtssprache	Englisch
Voraussetzungen für die Teilnahme	Verbindlich: Keine Empfohlen: Keine
Modulabschluss	Voraussetzungen zur Modulprüfung: Keine Art der Modulprüfung: Klausur oder mündliche Prüfung (benotet) Prüfungssprache: Englisch Abweichungen werden vor Beginn der Lehrveranstaltung bekannt gegeben.
Arbeitsaufwand in den einzelnen Modulteilern	• Nonlinear Optics (V): 6 LP • Exercises in Nonlinear Optics (Ü): 2 LP
Gesamtarbeitsaufwand des Moduls	8 LP
Dauer	Ein Semester
Häufigkeit des Angebots	Jährlich im Wintersemester

Modultyp	Wahlpflichtmodul
Titel	Science and Technology at the European XFEL
Sigle	PHY-MV-E607
Qualifikationsziele	Nach erfolgreichem Abschluss des Moduls können die Studierenden die technologischen Grundlagen moderner Freie-Elektronen-Laser erklären, experimentelle Methoden der Röntgenlaserforschung einordnen und aktuelle Entwicklungen in der zeitaufgelösten und nichtlinearen Licht-Materie-Wechselwirkung bewerten. Sie sind in der Lage, wissenschaftliche Anwendungen des European XFEL im globalen Forschungskontext kritisch zu analysieren.
Inhalte	• Technologische Grundlagen von Freie-Elektronen-Lasern • Beschleunigerprinzipien für Röntgen-FELs • Röntgenoptik an FEL-Anlagen • Wissenschaftliche Instrumentierung für XFEL-Experimente • Nichtlineare Licht-Materie-Wechselwirkung im Röntgenbereich • Zeitaufgelöste Röntgenstudien • Anwendungen der FEL-basierten Röntgenphysik • Aktuelle und zukünftige Entwicklungen an XFEL-Anlagen • Vor-Ort-Besuch am European XFEL
Lehr- und Lernformen	5 Tage Blockveranstaltung: 2 SWS
Unterrichtssprache	Englisch
Voraussetzungen für die Teilnahme	Verbindlich: Keine Empfohlen: Keine
Modulabschluss	Voraussetzungen zur Modulprüfung: Keine Art der Modulprüfung: Klausur (benotet) Prüfungssprache: Englisch Abweichungen werden vor Beginn der Lehrveranstaltung bekannt gegeben.
Arbeitsaufwand in den einzelnen Modulteilern	5 Tage Blockveranstaltung: 3 LP
Gesamtarbeitsaufwand des Moduls	3 LP
Dauer	Ein Semester
Häufigkeit des Angebots	Jährlich im Sommersemester

Modultyp	Wahlpflichtmodul
Titel	Ultrafast Optical Physics
Sigle	PHY-MV-E608
Qualifikationsziele	Nach dem erfolgreichen Absolvieren dieses Moduls kennen und verstehen die Studierende ultrakurze Phänomene. Zudem kennen sie die Einführung zu Technologien, die die Grundlage für moderne Kurzpulslaser bilden. Sie haben das Grundlagenwissen zur Beschreibung ultrakurzer optischer Pulse sowie deren Generierung, Manipulation, Diagnostik und Anwendung in modernen Verfahren der nichtlinearen Optik und optischen Spektroskopie.
Inhalte	• Beschreibung ultrakurzer optischer Pulse und deren Wechselwirkung mit Materie; • Erzeugung ultrakurzer Pulse mit Lasern; • Grundzüge der nichtlinearen Optik; • Diagnostik ultrakurzer optischer Pulse; • Ultrakurze Pulse in nicht-konventionellen Spektralbereichen. In den zugeordneten Übungen werden gemeinsam Probleme gelöst, um die erworbenen Kenntnisse anhand von Beispielen und Aufgaben zu verfestigen.
Lehr- und Lernformen	• Ultrafast Optical Physics (V): 2 SWS • Exercises in Ultrafast Optical Physics (Ü): 2 SWS
Unterrichtssprache	Englisch
Voraussetzungen für die Teilnahme	Verbindlich: Keine Empfohlen: Keine
Modulabschluss	Voraussetzungen zur Modulprüfung: Keine Art der Modulprüfung: Mündliche Prüfung (benotet) Prüfungssprache: Englisch Abweichungen werden vor Beginn der Lehrveranstaltung bekannt gegeben.
Arbeitsaufwand in den einzelnen Modulteilern	• Ultrafast Optical Physics (V): 3 LP • Exercises in Ultrafast Optical Physics (Ü): 2 LP
Gesamtarbeitsaufwand des Moduls	5 LP
Dauer	Ein Semester
Häufigkeit des Angebots	Jährlich im Wintersemester

Modultyp	Wahlpflichtmodul
Titel	Ultrafast Sources
Sigle	PHY-MV-E609
Qualifikationsziele	Nach erfolgreichem Abschluss des Moduls sind die Studierenden in der Lage, ultrakurze Laserpulse quantitativ zu modellieren, zu erzeugen und zu charakterisieren. Sie können die physikalischen Prinzipien von Ultrakurzpuls-Oszillatoren und Verstärkern anwenden und die Ausbreitung ultrakurzer Pulse in linearen und nichtlinearen Medien analysieren. Darüber hinaus sind sie befähigt, Methoden der Ultrakurzzeitphysik in Anwendungen der Spektroskopie, Metrologie und Attosekundenforschung kritisch zu bewerten.
Inhalte	• Ultrakurze Pulseerzeugung • Pulsverstärkung und Pulsmanipulation • Anwendungen in Spektroskopie, Metrologie und Attosekundenwissenschaften • Ultrakurzpuls-Laseroszillatoren und -verstärker • Pulsausbreitung in linearen und nichtlinearen Medien
Lehr- und Lernformen	• Ultrafast Sources (V): 4 SWS • Exercises in Ultrafast Sources (Ü): 2 SWS
Unterrichtssprache	Englisch
Voraussetzungen für die Teilnahme	Verbindlich: Keine Empfohlen: Keine
Modulabschluss	Voraussetzungen zur Modulprüfung: Keine Art der Modulprüfung: Klausur oder mündliche Prüfung (benotet) Prüfungssprache: Englisch Abweichungen werden vor Beginn der Lehrveranstaltung bekannt gegeben.
Arbeitsaufwand in den einzelnen Modulteilern	• Ultrafast Sources (V): 6 LP • Exercises in Ultrafast Sources (Ü): 2 LP
Gesamtarbeitsaufwand des Moduls	8 LP
Dauer	Ein Semester
Häufigkeit des Angebots	Jährlich im Sommersemester

Modultyp	Wahlpflichtmodul
Titel	X-ray and Ultrafast Photon Science
Sigle	PHY-MV-E610
Qualifikationsziele	Nach erfolgreichem Abschluss des Moduls können die Studierenden physikalische Grundlagen der Röntgen- und Ultrakurzpulsphysik erklären, experimentelle Konzepte mit optischen Lasern sowie Synchrotron- und FEL-Anlagen einordnen und grundlegende Methoden der Licht-Materie-Wechselwirkung anwenden. Sie sind in der Lage, aktuelle Forschungsergebnisse kritisch zu bewerten und deren technologische und gesellschaftliche Relevanz zu beurteilen.
Inhalte	• Grundlagen der Optik und der Licht-Materie-Wechselwirkung • Röntgenphysik • Bildgebungsverfahren • Röntgenoptik • Molekularphysik • Spektroskopie • Ultrakurze Prozesse im Femtosekunden- und Attosekundenbereich • Synchrotron-, Freie-Elektronen-Laser- und optische Lasertechnologien
Lehr- und Lernformen	• X-ray and Ultrafast Photon Science (V): 4 SWS • Exercises in X-ray and Ultrafast Photon Science (Ü): 2 SWS
Unterrichtssprache	Englisch oder Deutsch
Voraussetzungen für die Teilnahme	Verbindlich: Keine Empfohlen: Keine
Modulabschluss	Voraussetzungen zur Modulprüfung: Keine Art der Modulprüfung: Klausur oder mündliche Prüfung (benotet) Prüfungssprache: Englisch oder Deutsch Abweichungen werden vor Beginn der Lehrveranstaltung bekannt gegeben.
Arbeitsaufwand in den einzelnen Modulteilern	• X-ray and Ultrafast Photon Science (V): 6 LP • Exercises in X-ray and Ultrafast Photon Science (Ü): 2 LP
Gesamtarbeitsaufwand des Moduls	8 LP
Dauer	Ein Semester
Häufigkeit des Angebots	Jährlich im Sommersemester

Modultyp	Wahlpflichtmodul
Titel	X-ray Atto-Chirality
Sigle	PHY-MV-E611
Qualifikationsziele	Nach erfolgreichem Abschluss des Moduls können die Studierenden die physikalischen Grundlagen der Chiralität auf ultrakurzen Zeitskalen erläutern, experimentelle Methoden der attosekundenaufgelösten Röntgenlaserforschung einordnen und aktuelle Forschungsergebnisse zur ultraschnellen Licht-Materie-Wechselwirkung bewerten. Sie sind in der Lage, eigene experimentelle Konzepte für chirale Dynamikstudien zu entwickeln und kritisch zu diskutieren.
Inhalte	• Molekülphysik im Kontext der Röntgenlaserforschung und Spektroskopie • Chiralität und ultraschnelle Dynamik im Atto- und Femtosekundenbereich • Licht-Materie-Wechselwirkung auf extremen Zeitskalen und mit hoher Intensität • Technologien und Methodik der Röntgenlaserforschung • Experimentvorbereitung und Messtechniken an Röntgenlasern • Interpretation von Röntgenlaserexperimenten • Anwendungen in biomolekularen und lebenswissenschaftlichen Systemen
Lehr- und Lernformen	5 Tage Blockveranstaltung: 2 SWS
Unterrichtssprache	Englisch oder Deutsch
Voraussetzungen für die Teilnahme	Verbindlich: Keine Empfohlen: Keine
Modulabschluss	Voraussetzungen zur Modulprüfung: Keine Art der Modulprüfung: Referat mit schriftlicher Ausarbeitung (benotet) Prüfungssprache: Englisch oder Deutsch Abweichungen werden vor Beginn der Lehrveranstaltung bekannt gegeben.
Arbeitsaufwand in den einzelnen Modulteilern	5 Tage Blockveranstaltung: 3 LP
Gesamtarbeitsaufwand des Moduls	3 LP
Dauer	Ein Semester
Häufigkeit des Angebots	Jedes Semester

Modultyp	Wahlpflichtmodul
Titel	Theory of Photon-Matter Interactions
Sigle	PHY-MV-T601
Qualifikationsziele	Nach erfolgreichem Abschluss des Moduls können die Studierenden quantenmechanische Modelle der Licht-Materie-Wechselwirkung formulieren, Vielteilchensysteme im elektromagnetischen Feld analysieren, semiklassische und vollquantisierte Beschreibungen vergleichen sowie experimentelle Ergebnisse aus Laser- und Röntgenphysik theoretisch interpretieren.
Inhalte	• Kanonischer Formalismus • Quantentheorie des freien elektromagnetischen Feldes • Quantentheorie von Vielelektronensystemen • Wechselwirkung zwischen Photonenfeld und Elektronenfeld • Semiklassische Theorie der Licht-Materie-Wechselwirkung • Anwendungen der Licht-Materie-Wechselwirkung
Lehr- und Lernformen	• Theory of Photon-Matter Interactions (V): 4 SWS • Exercises in Theory of Photon-Matter Interactions (Ü): 2 SWS
Unterrichtssprache	Englisch
Voraussetzungen für die Teilnahme	Verbindlich: Keine Empfohlen: Theoretische Physik I–III
Modulabschluss	Voraussetzungen zur Modulprüfung: Keine Art der Modulprüfung: Klausur (60%) und Übungsabschluss (40%) (benotet) Prüfungssprache: Englisch Abweichungen werden vor Beginn der Lehrveranstaltung bekannt gegeben.
Arbeitsaufwand in den einzelnen Modulteilen	• Theory of Photon-Matter Interactions (V): 6 LP • Exercises in Theory of Photon-Matter Interactions (Ü): 2 LP
Gesamtarbeitsaufwand des Moduls	8 LP
Dauer	Ein Semester
Häufigkeit des Angebots	Jährlich im Wintersemester

Lehrformen: (V) = Vorlesung, (Ü) = Übungen, (S) = Seminar, (P) = Praktikum, (Pr) = Projekt
Allgemein: SWS= Semesterwochenstunden, LP = Leistungspunkt(e)

Zu § 24 Inkrafttreten

Diese fachspezifischen Bestimmungen treten am Tag nach der Veröffentlichung in den Amtlichen Bekanntmachungen der Universität Hamburg in Kraft. Sie gelten erstmals für Studierende, die ihr Studium zum Wintersemester 2026/2027 aufnehmen.

Hamburg, den 1. September 2026
Universität Hamburg