

## Master of Science International Physics Studies Program (ab WS 2023/24)

Akademischer Grad	Modulnummer	Modulform
Master of Science	12-PHY-BIOPL	Wahlpflicht

### Modultitel **Open Project Laboratory**

**Modultitel (englisch)** Open Project Laboratory

**Empfohlen für:** 1. Semester

**Verantwortlich** Direktor:in Peter-Debye-Institut für Physik der weichen Materie / Direktor:in Felix-Bloch-Institut für Festkörperphysik

**Dauer** 1 Semester

**Modulturnus** jedes Wintersemester

**Lehrformen** • Praktikum "Open Physics Laboratory" (4 SWS) = 60 h Präsenzzeit und 90 h Selbststudium = 150 h

**Arbeitsaufwand** 5 LP = 150 Arbeitsstunden (Workload)

**Verwendbarkeit**

- B.Sc. IPSP
- B.Sc. Physik
- M.Sc. IPSP

**Ziele**

Ziel dieses Moduls ist es, die Studierenden an die Entwicklung eigener experimenteller und theoretischer Forschungsideen heranzuführen, diese zu planen, umzusetzen und zu präsentieren. Nach erfolgreicher Absolvierung können die Studierenden

- sich selbstständig in ein Thema einarbeiten
- eine sinnvolle Zeiteinteilung für das Projekt erarbeiten
- problemorientiert im Team arbeiten
- ihr Projekt dokumentieren und mündlich präsentieren

**Inhalt**

Das Projekt wird von den Studierenden in Zweier- bis Vierer-Gruppen bearbeitet. Nach Sichtung der Experimentiermöglichkeiten im Open Physics Lab wählen die Studierenden selbstständig ein Thema aus der Physik und stellen in einer schriftlichen Ausarbeitung (Exposé, maximal eine A4-Seite) eine Methodik vor, mit der sie eine Hypothese, die sie aus dem Thema entwickeln, überprüfen wollen. Die Exposés werden von einer Kommission, bestehend aus den Praktikumsleitenden und zwei weiteren Hochschullehrenden oder wissenschaftlich Mitarbeitenden, auf die prinzipielle Durchführbarkeit geprüft und ggf. zur Überarbeitung an die Praktikumsgruppen zurück verwiesen. Die Projekte werden von Praktikumsbetreuenden begleitet.

**Teilnahmevoraussetzungen** keine

**Literaturangabe** keine

**Vergabe von Leistungspunkten** Leistungspunkte werden mit erfolgreichem Abschluss des Moduls vergeben. Näheres regelt die Prüfungsordnung.

**Prüfungsleistungen und -vorleistungen**

<b>Modulprüfung: Projektarbeit (Bearbeitungszeit 3 Wo., Präsentation 30 Min.), mit Wichtung: 1</b>	
<i>Prüfungsvorleistung: Schriftliche Ausarbeitung (Projektplan, 1 A4-Seite)</i>	
	Praktikum "Open Physics Laboratory" (4SWS)

## Master of Science International Physics Studies Program (ab WS 2023/24)

Akademischer Grad	Modulnummer	Modulform
Master of Science	12-PHY-BMWBNE1	Wahlpflicht

<b>Modultitel</b>	<b>Handlungskompetenz für nachhaltige Entwicklung - Grundlagenmodul</b>
<b>Modultitel (englisch)</b>	Action Competence for Sustainable Development - Fundamental Module
<b>Empfohlen für:</b>	1. Semester
<b>Verantwortlich</b>	Leitung der Leipziger Initiative für Nachhaltige Entwicklung (LINE)
<b>Dauer</b>	1 Semester
<b>Modulturnus</b>	jedes Wintersemester
<b>Lehrformen</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Ringvorlesung "Nachhaltige Entwicklung - Risikobewertung, Methoden und Modelle" (2 SWS) = 30 h Präsenzzeit und 70 h Selbststudium = 100 h</li> <li>• E-Learning-Veranstaltung "Nachhaltige Entwicklung - Risikobewertung, Methoden und Modelle" (1 SWS) = 15 h Präsenzzeit und 35 h Selbststudium = 50 h</li> <li>• Seminar "Praxisseminar I" (1 SWS) = 15 h Präsenzzeit und 60 h Selbststudium = 75 h</li> <li>• Seminar "Praxisseminar II" (1 SWS) = 15 h Präsenzzeit und 60 h Selbststudium = 75 h</li> </ul>
<b>Arbeitsaufwand</b>	10 LP = 300 Arbeitsstunden (Workload)
<b>Verwendbarkeit</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- B.Sc. Physik</li> <li>- B.Sc. IPSP</li> <li>- Fakultätsübergreifendes Grundlagenmodul für das UniZertifikat "Handlungskompetenz für Nachhaltige Entwicklung" für Studierende aller Fakultäten</li> </ul>
<b>Ziele</b>	<p>Die Studierenden kennen die Grundlagen zur Betrachtung komplexer gesellschaftlicher Fragen und sind in der Lage, gesellschaftlich relevante Fragestellungen unter Verwendung quantifizierbarer Modelle zu bewerten. Die Studierenden kennen die Grundlagen einer nachhaltigen Entwicklung und wenden erworbene Handlungskompetenzen beispielhaft für ausgewählte Themen einer nachhaltigen Entwicklung unter Beachtung der Sustainable Development Goals an. Diese 17 globalen Ziele für nachhaltige Entwicklung der Agenda 2030 hat die Weltgemeinschaft im Jahr 2015 verabschiedet. Sie richten sich an die Regierungen weltweit, aber auch die Zivilgesellschaft, die Privatwirtschaft und die Wissenschaft.</p> <p>In Interaktion mit den Dozenten lernen die Studierenden:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- ihre Standpunkte so zu kommunizieren, dass sie sich auch Fachfremden erschließen (Fachkompetenz, Sozialkompetenz),</li> <li>- ihre eigenen Sichtweisen aus vielfältigen Perspektiven neu zu betrachten, zu beleuchten und zu hinterfragen (Selbstkompetenz),</li> <li>- eigenverantwortliches und unabhängiges Lernen und Handeln (Methodenkompetenz),</li> <li>- den Umgang mit Daten, Modellen und Statistiken zur Entwicklung und Evaluierung konkreter Handlungsansätze (mathematisch-methodische Kompetenz).</li> </ul>

**Inhalt**

Dozenten aus allen Fakultäten der Universität geben einen Einblick in ihre aktuelle Forschung zu gesellschaftlichen Fragen. In jedem Beitrag wird aufgezeigt, wo und wie Modelle, Daten und ihre quantitative Analyse zu einem besseren Verständnis des Problems und zum Erarbeiten von Lösungsstrategien unter Beachtung der Nachhaltigkeit beitragen.

Im ersten Praxisseminar werden Lösungsstrategien für ausgewählte Beispiele gesellschaftlich relevanter Problemstellungen entwickelt.

Das Modul wird mit einem Essay (schriftl. Ausarbeitung) zu einem selbst gewählten Thema abgeschlossen. Die darin erarbeiteten Resultate werden im zweiten Praxisseminar in einem Vortrag vorgestellt, diskutiert und validiert (Referat). In dem Modul wird nachhaltiges Handeln somit in Bezug auf gesellschaftlich relevanten Fragestellungen an einem Beispiel schriftlich dargestellt, die eigenen Ergebnisse werden mündlich im wissenschaftlichen Diskurs vertreten und es wird Feedback auf die Resultate der anderen Teilnehmenden gegeben

Dieses Grundlagenmodul legt es das Fundament, auf dem weiterführenden Veranstaltungen für das interdisziplinäre Universitätszertifikat "Handlungskompetenz für nachhaltige Entwicklung" aufbauen. Insgesamt basiert das Zertifikat auf 3 Modulen im Gesamtumfang von 20 LP: Grundlagenmodul, Vertiefungsmodul und Reallabor (12-PHY-BMWBNE2).

**Teilnahmevoraussetzungen**

keine

**Literaturangabe**

Hinweise zu Literaturangaben erfolgen in den Lehrveranstaltungen.

**Vergabe von Leistungspunkten**

Leistungspunkte werden mit erfolgreichem Abschluss des Moduls vergeben. Näheres regelt die Prüfungsordnung.

**Prüfungsleistungen und -vorleistungen**

<b>Modulprüfung: Referat (45 Min.) mit schriftlicher Ausarbeitung (4 Wochen), mit Wichtung: 1</b>	
	Ringvorlesung "Nachhaltige Entwicklung - Risikobewertung, Methoden und Modelle" (2SWS)
	E-Learning-Veranstaltung "Nachhaltige Entwicklung - Risikobewertung, Methoden und Modelle" (1SWS)
	Seminar "Praxisseminar I" (1SWS)
	Seminar "Praxisseminar II" (1SWS)

## Master of Science International Physics Studies Program (ab WS 2023/24)

Akademischer Grad	Modulnummer	Modulform
Master of Science	12-PHY-BMWEMB	Wahlpflicht

### Modultitel Introduction to Biophysical Methods

**Modultitel (englisch)** Introduction to Biophysical Methods

**Empfohlen für:** 1. Semester

**Verantwortlich** Leiter:in der Abteilung Molekulare Biophysik

**Dauer** 1 Semester

**Modulturnus** mindestens einmal alle 2 Jahre

**Lehrformen**

- Vorlesung "Introduction to Biophysical Methods" (2 SWS) = 30 h Präsenzzeit und 45 h Selbststudium = 75 h
- Seminar "Introduction to Biophysical Methods" (2 SWS) = 30 h Präsenzzeit und 45 h Selbststudium = 75 h

**Arbeitsaufwand** 5 LP = 150 Arbeitsstunden (Workload)

**Verwendbarkeit**

- B.Sc. IPSP
- B.Sc. Physik

**Ziele**

Die Studierenden erwerben Kenntnisse über grundsätzliche physikalische Techniken, welche zur Analyse und Untersuchung von biologischen Systemen zum Einsatz kommen. Mit den erworbenen Kenntnissen erhalten die Studierenden eine Einführung in den Aufbau biologischer Materie. Sie werden befähigt, Fachliteratur, in denen biophysikalische Techniken zur Anwendung kommen, zu verstehen, zu diskutieren und zu bewerten. Sie können eine Methode der Biophysik in einem Vortrag präsentieren und die dafür notwendige Literatur beschaffen, auswählen und einordnen.

**Inhalt**

Vorlesung:

Ausgangspunkt der Vorlesung sind verschiedene Methoden der Biophysik zur Untersuchung der Struktur und Dynamik von biologischen Systemen und Prozessen. Die folgenden Themen werden behandelt:

- Aufbau von Zellen
- Struktur und Dynamik von Biomolekülen
- Herstellung und Separierung von biologischen Molekülen und Komplexen
- Massenspektrometrie
- Optische Spektroskopie (Absorptionsspektroskopie, Zirkulardichroismus, Fluoreszenzspektroskopie, Schwingungsspektroskopie)
- Lichtmikroskopische Techniken
- Kraftspektroskopie
- Kernspinresonanzspektroskopie
- Licht- und Röntgenstreuung
- Verfahren zur Strukturbestimmung (Elektronenmikroskopie, Röntgenkristallographie)
- Kalorimetrische Verfahren
- Numerische Verfahren der Strukturmodellierung und Bioinformatik

Seminar: Analysen von Publikationen und Präsentation zu ausgewählten Methoden.

Die Lehrveranstaltungen werden in englischer Sprache gehalten. Studien- und Prüfungsleistungen sind in englischer Sprache zu erbringen.

**Teilnahmevoraussetzungen**

keine

**Literaturangabe**

- Igor Serdyuk, Nathan Zaccai & Joseph Zaccai: Methods in Molecular Biophysics (Cambridge University Press)
- Iain Campbell: Biophysical Techniques (Oxford University Press)
- R. Geroch: "Suggestions for giving talks", arXiv:gr-qc/9703019
- [https://biostat.wisc.edu/~kbroman/talks/giving\\_talks.pdf](https://biostat.wisc.edu/~kbroman/talks/giving_talks.pdf)

**Vergabe von Leistungspunkten**

Leistungspunkte werden mit erfolgreichem Abschluss der Module vergeben. Näheres regelt die Prüfungsordnung

**Prüfungsleistungen und -vorleistungen**

Modulprüfung: Mündliche Prüfung 20 Min., mit Wichtung: 1	
Prüfungsvorleistung: Referat (20 Min.)	
	Vorlesung "Introduction to Biophysical Methods" (2SWS)
	Seminar "Introduction to Biophysical Methods" (2SWS)

## Master of Science International Physics Studies Program (ab WS 2023/24)

Akademischer Grad	Modulnummer	Modulform
Master of Science	12-PHY-BMWESB	Wahlpflicht

### Modultitel Introduction to Systems Biophysics

**Modultitel (englisch)** Introduction to Systems Biophysics

**Empfohlen für:** 1. Semester

**Verantwortlich** Leitung der Abteilung Systembiophysik mikrobieller Dynamik

**Dauer** 1 Semester

**Modulturnus** mindestens einmal alle 2 Jahre

**Lehrformen**

- Vorlesung "Introduction to Systems Biophysics" (2 SWS) = 30 h Präsenzzeit und 45 h Selbststudium = 75 h
- Seminar "Introduction to Systems Biophysics" (2 SWS) = 30 h Präsenzzeit und 45 h Selbststudium = 75 h

**Arbeitsaufwand** 5 LP = 150 Arbeitsstunden (Workload)

**Verwendbarkeit**

B.Sc. IPSP  
B.Sc. Physik  
M.Sc. IPSP

**Ziele**

Nach erfolgreicher Teilnahme sind die Studierenden vertraut mit wesentlichen Modellsystemen und experimentellen Methoden der mikrobiellen Systembiophysik und können dieses Wissen auf andere Systeme übertragen. Sie sind in der Lage, physikalische Modelle von biologischen Interaktionen zu verstehen, einzuordnen und anzuwenden sowie einfache Modelle selbst zu entwerfen.

Mit dem erworbenen Fachwissen werden die Studierenden befähigt, Fachliteratur aus dem Bereich der Systembiophysik zu verstehen, zu diskutieren, und zu bewerten. Sie sind geübt in der Beschaffung, Auswahl, und Einordnung von Literatur zu einem Thema des Fachgebiets und der Präsentation desselben in einem Vortrag.

**Inhalt**

Die Funktionen biologischer Systeme auf Skalen von Molekülen bis zu Ökosystemen erwachsen typischerweise aus Interaktionen zwischen Komponenten. Die Systembiophysik nutzt physikalische Ansätze, um die Mechanismen hinter der Entstehung solcher emergenter Funktionen zu verstehen. Dabei nutzt sie einerseits Methoden aus der Physik, um biologische Prozesse quantitativ zu beschreiben, und andererseits physikalische Gesetzmäßigkeiten, um zugrunde liegende Mechanismen einzugrenzen und Zielkonflikte zu analysieren.

Die Vorlesung bietet eine Einführung in die Systembiophysik anhand mikrobieller Modellsysteme. Die Studierenden werden mit klassischen Modellsystemen, Fragestellungen und experimentellen Methoden aus dem Fachgebiet vertraut gemacht.

Bearbeitet werden unter anderem

- biologische Musterbildung, z.B. in Reaktions-Diffusions-Systemen,
- die Grundlagen von Verhalten am Beispiel bakterieller Motilität und Chemotaxis,

- öko-evolutionäre Populationsdynamik, z.B. Spieltheorie, Räuber-Beute-Modelle.

Im Seminar halten die Studierenden selbständig recherchierte und vorbereitete Präsentationen zu ausgewählten experimentellen Methoden des Fachgebietes.

**Teilnahmevoraussetzungen**

keine

**Literaturangabe**

Hinweise zu Literaturangaben erfolgen in den Lehrveranstaltungen.

**Vergabe von Leistungspunkten**

Leistungspunkte werden mit erfolgreichem Abschluss des Moduls vergeben.  
Näheres regelt die Prüfungsordnung.

**Prüfungsleistungen und -vorleistungen**

<b>Modulprüfung: Mündliche Prüfung 20 Min., mit Wichtung: 1</b>	
<i>Prüfungsvorleistung: Referat (20 Min.)</i>	
	Vorlesung "Introduction to Systems Biophysics" (2SWS)
	Seminar "Introduction to Systems Biophysics" (2SWS)



## Master of Science International Physics Studies Program (ab WS 2023/24)

Akademischer Grad	Modulnummer	Modulform
Master of Science	12-PHY-BMWIOM2	Wahlpflicht

<b>Modultitel</b>	<b>Plasma Physics, Thin Film Deposition and Characterization</b>
<b>Modultitel (englisch)</b>	Plasma Physics, Thin Film Deposition and Characterization
<b>Empfohlen für:</b>	1. Semester
<b>Verantwortlich</b>	Leiter:in der Abteilung Angewandte Physik
<b>Dauer</b>	1 Semester
<b>Modulturnus</b>	jedes Wintersemester
<b>Lehrformen</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Vorlesung "Plasma Physics, Thin Film Deposition and Characterization" (2 SWS) = 30 h Präsenzzeit und 45 h Selbststudium = 75 h</li> <li>• Seminar "Plasma Physics, Thin Film Deposition and Characterization" (2 SWS) = 30 h Präsenzzeit und 45 h Selbststudium = 75 h</li> </ul>
<b>Arbeitsaufwand</b>	5 LP = 150 Arbeitsstunden (Workload)
<b>Verwendbarkeit</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• B.Sc. IPSP</li> <li>• B.Sc. Physik</li> </ul>
<b>Ziele</b>	<p>Die Studierenden</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- erhalten einen Überblick über die Erzeugung von Plasmen und deren Wechselwirkung mit Oberflächen</li> <li>- lernen typische Anwendungen von Plasmen kennen und werden grundlegende Messmethoden fachgerecht anwenden</li> <li>- bekommen eine Einführung in moderne Verfahren der experimentellen Herstellung dünner Schichten</li> <li>- erschließen sich systematisch Grundprinzipien weiterführender Verfahren zur Charakterisierung von Oberflächen</li> </ul>
<b>Inhalt</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Geschichte der Plasmaphysik</li> <li>- Grundlagen der Plasmaphysik</li> <li>- Plasma-Wand-Wechselwirkung</li> <li>- Plasma- und Ionenquellen</li> <li>- Depositionstechnologien für Dünne Schichten</li> <li>- Physik dünner Schichten</li> <li>- Ausgewählte Verfahren der Oberflächen- und Dünnschichtanalytik</li> </ul>
<b>Teilnahmevoraussetzungen</b>	keine
<b>Literaturangabe</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- F.F. Chen, Plasma Physics and Controlled Fusion, Plenum Press, New York, 1984.</li> <li>- Lieberman, M.A., Lichtenberg, A.J.: "Principles of Plasma Discharges and Materials Processing", Wiley 1994</li> <li>- H. Bubert, H. Jenett (Eds.) "Surface and Thin Film Analysis, Principles, Instrumentation, Application", Wiley-VCH Verlag 2002</li> <li>- H. Ibach, "Physics of Surfaces and Interfaces", Springer, 2006</li> </ul>

**Vergabe von Leistungspunkten**

Leistungspunkte werden mit erfolgreichem Abschluss der Module vergeben.  
Näheres regelt die Prüfungsordnung

**Prüfungsleistungen und -vorleistungen**

Modulprüfung: Mündliche Prüfung 30 Min., mit Wichtung: 1	
	Vorlesung "Plasma Physics, Thin Film Deposition and Characterization" (2SWS)
	Seminar "Plasma Physics, Thin Film Deposition and Characterization" (2SWS)

## Master of Science International Physics Studies Program (ab WS 2023/24)

Akademischer Grad	Modulnummer	Modulform
Master of Science	12-PHY-BMWIOM3	Wahlpflicht

### Modultitel **Microstructural Characterization**

**Modultitel (englisch)** Microstructural Characterization

**Empfohlen für:** 1. Semester

**Verantwortlich** Leiter:in der Abteilung Angewandte Physik

**Dauer** 1 Semester

**Modulturnus** jedes Sommersemester

**Lehrformen**

- Vorlesung "Microstructural Characterization with Electrons" (2 SWS) = 30 h Präsenzzeit und 45 h Selbststudium = 75 h
- Seminar "Advanced Techniques of Electron Microscopy" (1 SWS) = 15 h Präsenzzeit und 60 h Selbststudium = 75 h

**Arbeitsaufwand** 5 LP = 150 Arbeitsstunden (Workload)

**Verwendbarkeit**

- B.Sc. International Physics Studies Program
- B.Sc. Physik

**Ziele**

Die Studierenden erwerben Kenntnisse über wissenschaftliche Analysemethoden (basierend auf elektronenmikroskopischen Techniken), welche bei der Mikro- und Nanostrukturcharakterisierung von Materialien zum Einsatz kommen. Mit dem erworbenen Wissen sind die Studierenden in der Lage, optimale Analyseverfahren für die strukturelle und chemische Charakterisierung komplexer Materialien zu bestimmen. Sie vertiefen ihre Kenntnisse durch einen Vortrag im Rahmen eines Seminars und durch die Demonstration verschiedener Techniken an wissenschaftlichen Geräten.

**Inhalt**

Grundlagen der Transmissions- und Rasterelektronenmikroskopie (Aufbau, e-Quellen, e- Optik, Auflösung); Probenvorbereitung (Konventionelle, FIB); Analyseverfahren (Abbildung, Beugung, Bildsimulation); Analytische Elektronenmikroskopie (EDX, EELS); Beispiele aus eigener Forschung

**Teilnahmevoraussetzungen** keine

**Literaturangabe**

- D. Brandon and W.D. Kaplan, Microstructural Characterization of Materials, 2nd Edition, John Wiley and Sons Ltd., 2008
- R.F. Egerton, Physical Principles of Electron Microscopy: An Introduction to TEM, SEM, and AEM, Springer International Publishing, 2016
- D.B Willams and C.B. Carter, Transmission electron microscopy: A Textbook for Materials Science, Plenum Publishing Corporation, 2009
- J.M. Zhou, J.C.H. Spence, Advanced Transmission Electron Microscopy: Imaging and Diffraction in Nanoscience, Springer-Verlag New York, 2017

**Vergabe von Leistungspunkten** Leistungspunkte werden mit erfolgreichem Abschluss der Module vergeben. Näheres regelt die Prüfungsordnung

**Prüfungsleistungen und -vorleistungen**

<b>Modulprüfung: Mündliche Prüfung 30 Min., mit Wichtung: 1</b>	
<i>Prüfungsvorleistung: Referat (25 Min.)</i>	
	Vorlesung "Microstructural Characterization with Electrons" (2SWS)
	Seminar "Advanced Techniques of Electron Microscopy" (1SWS)

## Master of Science International Physics Studies Program (ab WS 2023/24)

Akademischer Grad	Modulnummer	Modulform
Master of Science	12-PHY-BMWED1	Wahlpflicht

<b>Modultitel</b>	<b>Introduction to Medical Physics 1</b>
<b>Modultitel (englisch)</b>	Introduction to Medical Physics 1
<b>Empfohlen für:</b>	1. Semester
<b>Verantwortlich</b>	Leiter:in der Abteilung Biotechnologie und Biomedizin
<b>Dauer</b>	1 Semester
<b>Modulturnus</b>	jedes Semester
<b>Lehrformen</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Vorlesung "Introduction to Medical Physics 1" (2 SWS) = 30 h Präsenzzeit und 45 h Selbststudium = 75 h</li> <li>• Seminar "Introduction to Medical Physics 1" (2 SWS) = 30 h Präsenzzeit und 45 h Selbststudium = 75 h</li> </ul>
<b>Arbeitsaufwand</b>	5 LP = 150 Arbeitsstunden (Workload)
<b>Verwendbarkeit</b>	B.Sc. Physik B.Sc. IPSP (Honours) M.Sc. IPSP
<b>Ziele</b>	Nach erfolgreicher Teilnahme sind die Studierenden in der Lage physikalische Modelle von biologischen und medizinischen Phänomenen zu verstehen und einzuordnen. Die Studierenden erwerben Kenntnisse auf dem Gebiet der physikalischen Grundlagen des Lebens, die Funktionsweise des Körpers und deren medizinischen Relevanz. Sie werden befähigt physikalische Prozesse des Körpers zu verstehen, zu diskutieren und zu bewerten. Sie können die erworbenen Kenntnisse zur Funktion und Biomechanik des Körpers, sowie Methoden zur Erforschung des Körpers und die Nutzung von Biomaterialien auf medizinische Fragestellungen in der aktuellen Forschungsliteratur anwenden und auf neue Problemstellungen übertragen.
<b>Inhalt</b>	Biomechanik des Körpers: Elastizitätstheorie, Knochen: Aufbau und Funktionsweise, Funktion von Muskeln und Gelenken, Blutkreislauf: Funktionsweise und Hydrodynamik des Blutes, Die Physik des Hörens: Einführung in die Akustik, Wellengleichung für den Schall, Akustik des Ohres: Aufbau und Funktionsweise, Impedanzanpassung des Ohres, Die Physik des Auges: Aufbau des Auges, Funktion der Fovea, Methoden zur Erforschung von Geweben und Wirkstoffen außerhalb des Körpers, Nutzung von Biomaterialien in der Medizin
<b>Teilnahmevoraussetzungen</b>	keine
<b>Literaturangabe</b>	Hinweise zu Literaturangaben erfolgen in den Lehrveranstaltungen.
<b>Vergabe von Leistungspunkten</b>	Leistungspunkte werden mit erfolgreichem Abschluss des Moduls vergeben. Näheres regelt die Prüfungsordnung.

**Prüfungsleistungen und -vorleistungen**

<b>Modulprüfung: Mündliche Prüfung 20 Min., mit Wichtung: 1</b>	
<i>Prüfungsvorleistung: Referat (20 Min.)</i>	
	Vorlesung "Introduction to Medical Physics 1" (2SWS)
	Seminar "Introduction to Medical Physics 1" (2SWS)

## Master of Science International Physics Studies Program (ab WS 2023/24)

Akademischer Grad	Modulnummer	Modulform
Master of Science	12-PHY-BMWMME	Wahlpflicht

<b>Modultitel</b>	<b>Mathematical Methods of Modern Physics</b>
<b>Modultitel (englisch)</b>	Mathematical Methods of Modern Physics
<b>Empfohlen für:</b>	1. Semester
<b>Verantwortlich</b>	Leitung der Abteilung Statistische Physik
<b>Dauer</b>	1 Semester
<b>Modulturnus</b>	mindestens einmal alle 2 Jahre
<b>Lehrformen</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Vorlesung "Mathematical Methods of Modern Physics" (2 SWS) = 30 h Präsenzzeit und 45 h Selbststudium = 75 h</li> <li>• Übung "Mathematical Methods of Modern Physics" (2 SWS) = 30 h Präsenzzeit und 45 h Selbststudium = 75 h</li> </ul>
<b>Arbeitsaufwand</b>	5 LP = 150 Arbeitsstunden (Workload)
<b>Verwendbarkeit</b>	B.Sc. International Physics Studies Program (Honours) B.Sc. Physik M.Sc. IPSP
<b>Ziele</b>	Die Studierenden beherrschen die Rechenmethoden der modernen Physik. Sie sind in der Lage, ihre Kenntnisse an konkreten Problemen anzuwenden. Sie sind befähigt, Fachliteratur zu folgen und ihre Kenntnisse selbstständig zu erweitern.
<b>Inhalt</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Grundlagen der komplexen Analysis: Cauchy-Riemann Gleichungen, Riemannsche Blätter, Cauchyscher Integralsatz, Laurentreihen, Anwendungen des Residuensatzes, Dispersionsrelationen</li> <li>- Anwendungen von Distributionen und Fouriertransformationen</li> <li>- Eigenwerte und Eigenfunktionen</li> </ul>
<b>Teilnahmevoraussetzungen</b>	keine
<b>Literaturangabe</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- E.B. Saff and A.D. Snider, "Fundamentals of Complex Analysis with Applications to Engineering, Science, And Mathematics", 3rd edition, Pearson, 2013</li> <li>- G.B. Arfken and J.J. Weber, "Mathematical Methods for Physicists", Elsevier, 2005</li> <li>- W. Rudin, "Real and Complex Analysis", McGraw-Hill, 1987</li> <li>- M. Reed, B. Simon, "Methods of Modern Mathematical Physics", Vols. 1 &amp; 2, Academic Press, 1980</li> </ul>
<b>Vergabe von Leistungspunkten</b>	Leistungspunkte werden mit erfolgreichem Abschluss des Moduls vergeben. Näheres regelt die Prüfungsordnung.

**Prüfungsleistungen und -vorleistungen****Modulprüfung: Klausur 90 Min., mit Wichtung: 1**

*Prüfungsvorleistung: Wöchentlich ausgegebene Übungsaufgaben zu Fragen aus dem Bereich des Modulinhalts. Für die Lösung werden Punkte vergeben. Voraussetzung für die Zulassung zur Klausur ist der Erwerb von 50% der möglichen Punkte des gesamten Semesters.*

	Vorlesung "Mathematical Methods of Modern Physics" (2SWS)
	Übung "Mathematical Methods of Modern Physics" (2SWS)



## Master of Science International Physics Studies Program (ab WS 2023/24)

Akademischer Grad	Modulnummer	Modulform
Master of Science	12-PHY-BMWMMP1	Wahlpflicht

<b>Modultitel</b>	<b>Introduction to General Relativity</b>
<b>Modultitel (englisch)</b>	Introduction to General Relativity
<b>Empfohlen für:</b>	1. Semester
<b>Verantwortlich</b>	Leitung der Abteilung Mathematische Physik
<b>Dauer</b>	1 Semester
<b>Modulturnus</b>	jedes Sommersemester
<b>Lehrformen</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Vorlesung "Introduction to General Relativity" (2 SWS) = 30 h Präsenzzeit und 45 h Selbststudium = 75 h</li> <li>• Übung "Introduction to General Relativity" (2 SWS) = 30 h Präsenzzeit und 45 h Selbststudium = 75 h</li> </ul>
<b>Arbeitsaufwand</b>	5 LP = 150 Arbeitsstunden (Workload)
<b>Verwendbarkeit</b>	B.Sc. International Physics Studies Program B.Sc. Physik M.Sc. IPSP
<b>Ziele</b>	Die Studierenden kennen wichtige physikalische Effekte der Allgemeinen Relativitätstheorie. Sie sind in der Lage, ihre Kenntnisse an konkreten Problemen anzuwenden. Sie sind befähigt, Fachliteratur zu folgen und ihre Kenntnisse selbstständig zu erweitern.
<b>Inhalt</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Spezielle Relativitätstheorie</li> <li>- Äquivalenzprinzip</li> <li>- Schwarzschild Schwarzes Loch</li> <li>- Beugung von Lichtstrahlen in Gravitationsfeldern; Rotverschiebung</li> <li>- Bewegung von Testmassen in Gravitationsfeldern</li> <li>- Energie- und Impulserhaltung in einem externen Gravitationsfeld</li> <li>- Newton'scher Grenzfall</li> <li>- Energie-Impulstensor und Energiebedingungen</li> <li>- Beobachtbare Effekte, beispielsweise: Relativitätstheorie im GPSSystem, Spin-Präzession, Perihelionpräzession des Merkur.</li> <li>- Fortgeschrittene Themen</li> </ul>
<b>Teilnahmevoraussetzungen</b>	keine
<b>Literaturangabe</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- N. Straumann: "General Relativity", Springer Graduate Texts in Physics 2nd Edition, 2013</li> <li>- J. B. Hartle: "An Introduction to Einstein's General Relativity" Pearson Education 1st Edition, 2001</li> <li>- S. M. Carroll: "Spacetime and Geometry: An Introduction to General Relativity" Cambridge University Press, 1st Edition, 2019</li> <li>- R. D'Inverno, J. Vickers: "Introducing Einstein's Relativity: A Deeper Understanding" Oxford University Press 2nd Edition, 2022</li> <li>- N. Ashby: "Relativity in the Global Positioning System" Living Reviews in</li> </ul>

Relativity, Volume 6, Article Number 1, Springer Verlag, 2003  
 - B. Schutz: "A First Course in General Relativity" Cambridge University Press, 2022

**Vergabe von Leistungspunkten**

Leistungspunkte werden mit erfolgreichem Abschluss des Moduls vergeben.  
 Näheres regelt die Prüfungsordnung.

**Prüfungsleistungen und -vorleistungen**

<b>Modulprüfung: Klausur 90 Min., mit Wichtung: 1</b>	
<i>Prüfungsvorleistung: Übungsaufgaben zu Fragen aus dem Bereich des Modulinhalts. Für die Lösung werden Punkte vergeben. Voraussetzung für die Zulassung zur Klausur ist der Erwerb von 50% der möglichen Punkte des gesamten Semesters.</i>	
	Vorlesung "Introduction to General Relativity" (2SWS)
	Übung "Introduction to General Relativity" (2SWS)

## Master of Science International Physics Studies Program (ab WS 2023/24)

Akademischer Grad	Modulnummer	Modulform
Master of Science	12-PHY-BMWMO2	Wahlpflicht

### Modultitel Introduction to Polymer Physics

**Modultitel (englisch)** Introduction to Polymer Physics

**Empfohlen für:** 1. Semester

**Verantwortlich** Leiter:in der Abteilung Molekulare Nanophotonik

**Dauer** 1 Semester

**Modulturnus** mindestens jedes zweite Semester

**Lehrformen**

- Vorlesung "Introduction to Polymer Physics" (2 SWS) = 30 h Präsenzzeit und 45 h Selbststudium = 75 h
- Seminar "Introduction to Polymer Physics" (2 SWS) = 30 h Präsenzzeit und 45 h Selbststudium = 75 h

**Arbeitsaufwand** 5 LP = 150 Arbeitsstunden (Workload)

**Verwendbarkeit**

- B.Sc. Physik
- B.Sc. IPSP

**Ziele**

Die Studierenden erwerben Kenntnisse über den Aufbau und die strukturellen und dynamischen Eigenschaften von Polymeren sowie über physikalische Methoden, welche zur experimentellen Analyse und Untersuchung von Polymeren zum Einsatz kommen. Mit den erworbenen Kenntnissen werden die Studierenden befähigt, Fachliteratur aus dem Gebiet der Polymerwissenschaften zu verstehen, zu diskutieren und zu bewerten.

Sie können eine Methode der Polymerphysik in einem Vortrag präsentieren und die dafür notwendige Literatur beschaffen, auswählen und einordnen.

**Inhalt**

Vorlesung:  
Ausgangspunkt der Vorlesung sind die Struktur und Dynamik von Polymeren. Anhand dieser Eigenschaften werden verschiedene experimentelle Methoden zu deren Untersuchung erläutert. Die folgenden Themen werden behandelt:

Aufbau von Polymeren:  
 - Struktur und Dynamik von Polymeren  
 - Glasübergang, teilkristalline Systeme, Mesophasenseparation

Strukturaufklärende Methoden:  
 - Infrarotspektroskopie  
 - Rasterkraftmikroskopie  
 - Röntgen- und Neutronenstreuung

Methoden zur Bestimmung der Dynamik:  
 - Dielektrische Spektroskopie  
 - Scherrheologie (mechanische Spektroskopie)  
 - Photonenkorrelationsspektroskopie

Seminar: Analysen von Publikationen und Präsentationen zu ausgewählten Methoden.

**Teilnahmevoraussetzungen**

keine

**Literaturangabe**

- G. Strobl: The Physics of Polymers: Concepts for Understanding Their Structures and Behavior (Springer)
- B. Stuart: Infrared Spectroscopy: Fundamentals and Applications (Wiley)

**Vergabe von Leistungspunkten**

Leistungspunkte werden mit erfolgreichem Abschluss des Moduls vergeben. Näheres regelt die Prüfungsordnung.

**Prüfungsleistungen und -vorleistungen**

<b>Modulprüfung: Mündliche Prüfung 20 Min., mit Wichtung: 1</b>	
<i>Prüfungsvorleistung: Seminarvortrag (20 Min.)</i>	
	Vorlesung "Introduction to Polymer Physics" (2SWS)
	Seminar "Introduction to Polymer Physics" (2SWS)

## Master of Science International Physics Studies Program (ab WS 2023/24)

Akademischer Grad	Modulnummer	Modulform
Master of Science	12-PHY-BMWNUM	Wahlpflicht

<b>Modultitel</b>	<b>Numerical Approaches to Theoretical Physics</b>
<b>Modultitel (englisch)</b>	Numerical Approaches to Theoretical Physics
<b>Empfohlen für:</b>	1. Semester
<b>Verantwortlich</b>	Leitung der Abteilung Statistische Physik
<b>Dauer</b>	1 Semester
<b>Modulturnus</b>	mindestens einmal alle 2 Jahre
<b>Lehrformen</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Vorlesung "Numerical Approaches to Theoretical Physics" (2 SWS) = 30 h Präsenzzeit und 45 h Selbststudium = 75 h</li> <li>• Übung "Numerical Approaches to Theoretical Physics" (2 SWS) = 30 h Präsenzzeit und 45 h Selbststudium = 75 h</li> </ul>
<b>Arbeitsaufwand</b>	5 LP = 150 Arbeitsstunden (Workload)
<b>Verwendbarkeit</b>	B.Sc. International Physics Studies Program (Honours) B.Sc. Physik M.Sc. IPSP
<b>Ziele</b>	Die Studierenden lernen numerische Methoden zur Bearbeitung von Problemen aus der theoretischen Physik kennen. Eine Implementierung in den Programmiersprachen Julia und Python versetzt sie in die Lage, Lösungen für konkrete Modellprobleme zu finden. Sie sind befähigt, Programmcode zu analysieren und ihre Kenntnisse selbstständig zu erweitern.
<b>Inhalt</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Einführung in die Programmiersprache Julia</li> <li>- Simulation von niedrig-dimensionalen Quantensystemen (exakte Diagonalisierung, Verschränkungsentropie)</li> <li>- Pseudo-Zufallszahlengeneratoren</li> <li>- Zufallsmatrixtheorie, ungeordnete und chaotische Systeme</li> <li>- Optimierungsalgorithmen</li> <li>- Neuronale Netzwerke und Implementierung in Pytorch</li> </ul>
<b>Teilnahmevoraussetzungen</b>	Abschluss des Moduls 12-PHY-BCPM oder 12-PHY-BWMS oder äquivalente Vorkenntnisse empfohlen
<b>Literaturangabe</b>	Hinweise zu Literaturangaben erfolgen in den Lehrveranstaltungen.
<b>Vergabe von Leistungspunkten</b>	Leistungspunkte werden mit erfolgreichem Abschluss des Moduls vergeben. Näheres regelt die Prüfungsordnung.

**Prüfungsleistungen und -vorleistungen**

<b>Modulprüfung: Klausur 90 Min., mit Wichtung: 1</b>	
<i>Prüfungsvorleistung: Übungsaufgaben</i>	
	Vorlesung "Numerical Approaches to Theoretical Physics" (2SWS)
	Übung "Numerical Approaches to Theoretical Physics" (2SWS)

## Master of Science International Physics Studies Program (ab WS 2023/24)

Akademischer Grad	Modulnummer	Modulform
Master of Science	12-PHY-BMWOFP1	Wahlpflicht

### Modultitel Surface Physics, Nanostructures and Thin Films

**Modultitel (englisch)** Surface Physics, Nanostructures and Thin Films

**Empfohlen für:** 1. Semester

**Verantwortlich** Leiter:in der Abteilung Oberflächenphysik

**Dauer** 1 Semester

**Modulturnus** mindestens einmal alle 2 Jahre

**Lehrformen**

- Vorlesung "Surface Physics, Nanostructures and Thin Films" (2 SWS) = 30 h Präsenzzeit und 45 h Selbststudium = 75 h
- Seminar "Surface Physics, Nanostructures and Thin Films" (2 SWS) = 30 h Präsenzzeit und 45 h Selbststudium = 75 h

**Arbeitsaufwand** 5 LP = 150 Arbeitsstunden (Workload)

**Verwendbarkeit**

- B.Sc. IPSP
- B.Sc. Physik

**Ziele**

Nach aktiver Teilnahme am Modul besitzen die Studierenden einen umfassenden Überblick über die physikalischen Grundlagen von Oberflächen, Nanostrukturen und dünnen Schichten, sowie deren Anwendung in zukunftsweisenden Gebieten. Basierend darauf sind sie in der Lage, sich eigenständig in den genannten Gebieten anhand von Fachliteratur weiterzubilden, um letztendlich selbstständig zu arbeiten. Im Rahmen des Seminars werden die Teilnehmer-(inn)en andererseits mit zentralen "soft skills" der Literaturrecherche, Ausarbeitung eines wissenschaftlichen Vortrages und Präsentationstechniken vertraut gemacht.

**Inhalt** Vorlesung:

- Kristallstruktur, Thermodynamik, elektron. Eigenschaften von Oberflächen
- Oberflächenkinetik, Strukturbildung, Oberflächenreaktionen
- Funktionalisierung von Oberflächen und Wechselwirkung mit biologischen Zellen und Geweben, Biokompatibilität
- Präparation und Charakterisierung wohldefinierter Oberflächen
- Nanoclusters, -rods und -tubes, Synthese (Miniaturisierung - top-down-Verfahren, Printing / Selbstorganisation - bottom-up-Verfahren), Struktur, Thermodynamik, Kinetik, elektronische und magnetische Eigenschaften
- quantenmechanische Grundlagen niedrigdimensionaler Nanostrukturen
- funktionale Nanostrukturen für biologische und medizinische Anwendungen
- Physikalische Grundlagen dünner Schichten, Wachstumsmodi, Epitaxie, mechanische Spannungen in dünnen Schichten, ionen- und elektronenstrahlgestützte Verfahren der Synthese und Analyse, funktionale Dünnschichten

Seminar:

Begleitend zur Vorlesung werden Vorträge zu speziellen Themen aus dem Bereich der Anwendung funktionaler Oberflächen, dünner Schichten und Nanostrukturen

vergeben. Der Fokus liegt dabei auf Anwendungen in den Bereichen Medizin, Energie und Informationsverarbeitung

**Teilnahmevoraussetzungen** keine

**Literaturangabe** H. Ibach, "Physics of Surfaces and Interfaces", Springer 2006  
B. Bushan, "Handbook of Nanotechnology", Springer, 2017

**Vergabe von Leistungspunkten** Leistungspunkte werden mit erfolgreichem Abschluss der Module vergeben.  
Näheres regelt die Prüfungsordnung

### **Prüfungsleistungen und -vorleistungen**

<b>Modulprüfung: Mündliche Prüfung 30 Min., mit Wichtung: 1</b>	
<i>Prüfungsvorleistung: Referat (30 Min.)</i>	
	Vorlesung "Surface Physics, Nanostructures and Thin Films" (2SWS)
	Seminar "Surface Physics, Nanostructures and Thin Films" (2SWS)



## Master of Science International Physics Studies Program (ab WS 2023/24)

Akademischer Grad	Modulnummer	Modulform
Master of Science	12-PHY-BMWQC1	Wahlpflicht

### Modultitel Quantum Communication

**Modultitel (englisch)** Quantum Communication

**Empfohlen für:** 1. Semester

**Verantwortlich** Leiter:in der Arbeitsgruppe Festkörperbasierte Quanteninformation

**Dauer** 1 Semester

**Modulturnus** jährlich

**Lehrformen**

- Vorlesung "Quantum Communication" (2 SWS) = 30 h Präsenzzeit und 70 h Selbststudium = 100 h
- Seminar "Quantum Communication" (1 SWS) = 15 h Präsenzzeit und 35 h Selbststudium = 50 h

**Arbeitsaufwand** 5 LP = 150 Arbeitsstunden (Workload)

**Verwendbarkeit**

B.Sc. Physik  
B.Sc. IPSP (Honours)  
M.Sc. IPSP

**Ziele**

Die Studierenden

- kennen die Vorteile, die Quantenkommunikation gegenüber klassischer Kommunikation bieten kann.
- sind in der Lage, quantenmechanische Prozesse bei der Quantenkommunikation physikalisch und mathematisch zu beschreiben.
- verstehen die Vor- und Nachteile unterschiedlicher Hardware-Plattformen und experimenteller Techniken zur Realisierung und Optimierung von Quantenkommunikationsprozessen.
- haben sich mit aktueller Literatur zur Quantenkommunikation beschäftigt und dadurch einen Überblick über den aktuellen Stand der Technik sowie noch offene Fragen erhalten.

**Inhalt**

- Einführung in für die Quantenkommunikation relevante Themen der Quantenmechanik und der Optik
- Beschreibung, Erzeugung und Nutzung von Quantenverschränkung in der Quantenkommunikation
- Diskussion grundlegender Quantenkommunikationsprotokolle
- Probleme bei der Quantenkommunikation über weite Distanzen und Ansätze für Quantenrepeater
- vielversprechende Hardware-Plattformen zur Realisierung von Quantenkommunikation (Photonen, Festkörperspins, Quantenpunkte, Gefangene Atome)

**Teilnahmevoraussetzungen** keine

**Literaturangabe**

- Einführung in die Quantum Informationsverarbeitung: "Quantum Computation and Quantum Information", Nielsen, M. und Chuang, I.
- "Quantum Communication Networks", Bassoli, R. et. al.

- "The Quantum Internet", Peter Rohde
- "Quantum repeaters: From quantum networks to the quantum internet", Azuma, K. et al. arxiv.org (2022)
- "Quantum networks based on color centers in diamond" Ruf, M. et al. Journal of Applied Physics 130, 070901 (2021)

### Vergabe von Leistungspunkten

Leistungspunkte werden mit erfolgreichem Abschluss des Moduls vergeben. Näheres regelt die Prüfungsordnung.

### Prüfungsleistungen und -vorleistungen

#### Modulprüfung: Mündliche Prüfung 30 Min., mit Wichtung: 1

*Prüfungsvorleistung: Wöchentlich ausgegebene Übungsaufgaben zu Fragen aus dem Bereich des Modulinhalts. Für die Lösung werden Punkte vergeben. Voraussetzung für die Zulassung zur Prüfung ist (1) der Erwerb von 50% der möglichen Punkte des gesamten Semesters und (2) einmalige Präsentation einer Aufgabenlösung in der Übung.*

	Vorlesung "Quantum Communication" (2SWS)
	Seminar "Quantum Communication" (1SWS)

## Master of Science International Physics Studies Program (ab WS 2023/24)

Akademischer Grad	Modulnummer	Modulform
Master of Science	12-PHY-BMWQIT	Wahlpflicht

<b>Modultitel</b>	<b>Quantum Information Theory</b>
<b>Modultitel (englisch)</b>	Quantum Information Theory
<b>Empfohlen für:</b>	1. Semester
<b>Verantwortlich</b>	Leitung der Abteilung Quantenfeldtheorie und Gravitation
<b>Dauer</b>	1 Semester
<b>Modulturnus</b>	jedes Sommersemester
<b>Lehrformen</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Vorlesung "Quantum Information Theory" (2 SWS) = 30 h Präsenzzeit und 45 h Selbststudium = 75 h</li> <li>• Übung "Quantum Information Theory" (2 SWS) = 30 h Präsenzzeit und 45 h Selbststudium = 75 h</li> </ul>
<b>Arbeitsaufwand</b>	5 LP = 150 Arbeitsstunden (Workload)
<b>Verwendbarkeit</b>	B.Sc. International Physics Studies Program (Honours) B.Sc. Physik M.Sc. IPSP
<b>Ziele</b>	Die Studierenden kennen die konzeptionellen Grundlagen der Quanteninformationstheorie und ihre wesentlichen Methoden. Sie sind in der Lage, ihre Kenntnisse an konkreten Problemen anzuwenden. Sie sind befähigt, Fachliteratur zu folgen und ihre Kenntnisse selbstständig zu erweitern.
<b>Inhalt</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Theoreme von Bell und Tsirelson</li> <li>- No-Cloning und No-Signalling Theorem</li> <li>- Verschränkung und Verschränkungsmaße</li> <li>- Quantenkanäle und ihre Kapazität</li> <li>- Quantenkryptografische Protokolle</li> <li>- Quantenschaltungen und Quantenalgorithmen</li> <li>- Dekohärenz</li> <li>- Quantenfehlerkorrektur</li> <li>- Topologisches Quantencomputing</li> <li>- Physikalische Realisierung von qbits und Quantencomputern</li> </ul>
<b>Teilnahmevoraussetzungen</b>	keine
<b>Literaturangabe</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- M.A. Nielsen and I.L. Chuang, Quantum Computation and Quantum Information, Cambridge University Press, 2010;</li> <li>- M. Wilde: Quantum Information Theory, Cambridge University Press, 2017;</li> <li>- J. Audretsch: Entangled Systems: New Directions in Quantum Physics, John Wiley &amp; Sons, 2008;</li> <li>- N.D. Mermin, Quantum Computer Science, Cambridge University Press, 2007;</li> <li>- J. Pachos, Introduction to Topological Quantum Computation, Cambridge University Press 2012</li> </ul>

**Vergabe von Leistungspunkten**

Leistungspunkte werden mit erfolgreichem Abschluss des Moduls vergeben. Näheres regelt die Prüfungsordnung.

**Prüfungsleistungen und -vorleistungen****Modulprüfung: Klausur 90 Min., mit Wichtung: 1**

*Prüfungsvorleistung: Wöchentlich ausgegebene Übungsaufgaben zu Fragen aus dem Bereich des Modulinhalts. Für die Lösung werden Punkte vergeben. Voraussetzung für die Zulassung zur Klausur ist der Erwerb von 50% der möglichen Punkte des gesamten Semesters.*

	Vorlesung "Quantum Information Theory" (2SWS)
	Übung "Quantum Information Theory" (2SWS)

## Master of Science International Physics Studies Program (ab WS 2023/24)

Akademischer Grad	Modulnummer	Modulform
Master of Science	12-PHY-BMWQMAT	Wahlpflicht

### Modultitel **Quantum Matter**

**Modultitel (englisch)** Quantum Matter

**Empfohlen für:** 1. Semester

**Verantwortlich** Leiter:in Arbeitsgruppe Quantenoptik

**Dauer** 1 Semester

**Modulturnus** jedes Wintersemester

**Lehrformen**

- Vorlesung "Modern Experiments in Atomic Physics" (2 SWS) = 30 h Präsenzzeit und 45 h Selbststudium = 75 h
- Seminar "Modern Experiments in Atomic Physics" (2 SWS) = 30 h Präsenzzeit und 45 h Selbststudium = 75 h

**Arbeitsaufwand** 5 LP = 150 Arbeitsstunden (Workload)

**Verwendbarkeit**

- B.Sc. International Physics Studies Program
- B.Sc. Physik

**Ziele**

Die Studierenden lernen ein aktuelles Forschungsgebiet der physikalischen Institute kennen und erweitern bereits vorhandene Kenntnisse grundlegender physikalischer Konzepte der Quantenmechanik und Optik. Mit den erworbenen Kenntnissen werden die Studierenden befähigt, die Fachliteratur aus dem Bereich der modernen Atomphysik zu verstehen, zu diskutieren und zu bewerten. Sie können relevante Beispiele aus diesem Bereich in einem Vortrag präsentieren und die dafür notwendige Literatur beschaffen, auswählen und einordnen.

**Inhalt**

In diesem Modul werden verschiedene Experimente der modernen Atomphysik besprochen, unter anderem aus den folgenden Bereichen:

- Kühlen atomarer Gase auf wenige Nanokelvin
- Atomare Bose-Einstein Kondensate und entartete Fermigase
- BEC-BCS Crossover, Polaronen und Quanten-Thermodynamik
- Atome in optischen Gittern: Quantensimulation von Bose-Hubbard Hamiltonians
- Hybride Atom-Festkörper Systeme: Cavity-QED für grundlegende Tests der Quantenmechanik
- Präzisionsmessungen mit atomaren Sensoren: Elektromagnetismus, Gravitation und fundamentale Konstanten

**Teilnahmevoraussetzungen** keine

**Literaturangabe** Hinweise zu Literaturangaben erfolgen in den Lehrveranstaltungen.

**Vergabe von Leistungspunkten** Leistungspunkte werden mit erfolgreichem Abschluss der Module vergeben. Näheres regelt die Prüfungsordnung

**Prüfungsleistungen und -vorleistungen**

<b>Modulprüfung: Mündliche Prüfung 30 Min., mit Wichtung: 1</b>	
<i>Prüfungsvorleistung: Referat (30 Min.) mit schriftlicher Ausarbeitung (3 Wochen)</i>	
	Vorlesung "Modern Experiments in Atomic Physics" (2SWS)
	Seminar "Modern Experiments in Atomic Physics" (2SWS)

## Master of Science International Physics Studies Program (ab WS 2023/24)

Akademischer Grad	Modulnummer	Modulform
Master of Science	12-PHY-BMWQS1	Wahlpflicht

### Modultitel Quantum Sensing

**Modultitel (englisch)** Quantum Sensing

**Empfohlen für:** 1. Semester

**Verantwortlich** Leiter der Arbeitsgruppe Festkörperbasierte Quanteninformation

**Dauer** 1 Semester

**Modulturnus** jährlich

**Lehrformen**

- Vorlesung "Quantum Sensing" (2 SWS) = 30 h Präsenzzeit und 70 h Selbststudium = 100 h
- Übung "Quantum Sensing" (1 SWS) = 15 h Präsenzzeit und 35 h Selbststudium = 50 h

**Arbeitsaufwand** 5 LP = 150 Arbeitsstunden (Workload)

**Verwendbarkeit**

B.Sc. Physik  
B.Sc. IPSP (Honours)  
M.Sc. IPSP

**Ziele**

- Studierende verfügen über grundlegende Kenntnisse der quantenmechanischen Prinzipien und können anhand dessen Quantensensoren definieren.
- Studierende sind in der Lage, zu ermitteln wie Umgebungsparameter, z.B. Magnetfelder, die Zustände der Quantensensoren verändern und wie sich die Auslese dieser Parameter anhand von Messprotokollen realisieren lässt.
- Studierende können die bekannten Realisierungen von Quantensensoren mit der jeweiligen Funktionsweise darlegen und diese anhand von Eigenschaften wie Kohärenz und Sensitivität miteinander vergleichen.
- Studierende sind in der Lage zu analysieren, wie sich die Sensitivität der Quantensensoren durch Anwendung quantenmechanischer Prinzipien, z.B. Verschränkung und Squeezing, erhöhen und auf verschiedene Plattformen anwenden lässt.
- Studierende können konkrete Anwendungen von Quantensensoren benennen und den Stand der Technik beschreiben.

**Inhalt**

- Grundlagen der Quantenmechanik
- Definition und Grundprinzipien der Quantensorik (u.a. Kohärenz, Messprotokolle, Rauschen, Sensitivität)
- Beispiele von Quanten-Sensoren und ihre Funktionsweise (u.a. Atom Interferometrie, Atomare Dampfcellen, Supraleitende Strukturen, NV Zentren im Diamanten)
- Anwendungen von Quanten-Sensoren (u.a. Gravitäts-Gradiometer, Messung von Magnetfeldern im Gehirn MEG, Detektion von Bio-Magnetismus und Temperatur in Zellen mit Nanometer Auflösung, Einzel Molekül Magnet Resonanz)
- Fortgeschrittene Messprinzipien von Quanten-Sensoren (Ausnutzung von Verschränkung, Squeezing, Quanten-Speichern und Quantenfehlerkorrektur)

**Teilnahmevoraussetzungen** keine

**Literaturangabe** - C. Degen et. al, Quantum Sensing, Rev. Mod. Phys. 89, 035002, 2017  
 - D. Budker and D. F. J. Kimball, Optical Magnetometry (Cambridge University Press, Cambridge, UK) 2013

**Vergabe von Leistungspunkten** Leistungspunkte werden mit erfolgreichem Abschluss des Moduls vergeben. Näheres regelt die Prüfungsordnung.

### Prüfungsleistungen und -vorleistungen

#### Modulprüfung: Mündliche Prüfung 30 Min., mit Wichtung: 1

*Prüfungsvorleistung: Wöchentlich ausgegebene Übungsaufgaben zu Fragen aus dem Bereich des Modulinhalts. Für die Lösung werden Punkte vergeben. Voraussetzung für die Zulassung zur Prüfung ist (1) der Erwerb von 50% der möglichen Punkte des gesamten Semesters und (2) einmalige Präsentation einer Aufgabenlösung in der Übung.*

	Vorlesung "Quantum Sensing" (2SWS)
	Übung "Quantum Sensing" (1SWS)



## Master of Science International Physics Studies Program (ab WS 2023/24)

Akademischer Grad	Modulnummer	Modulform
Master of Science	12-PHY-BMWQT1	Wahlpflicht

### Modultitel **Quantum Technology 1**

**Modultitel (englisch)** Quantum Technology 1

**Empfohlen für:** 1. Semester

**Verantwortlich** Leiter:in der Abteilung Angewandte Quantensysteme

**Dauer** 1 Semester

**Modulturnus** jedes Wintersemester

**Lehrformen**

- Vorlesung "Ion beams and their use in material analysis and modification" (2 SWS) = 30 h Präsenzzeit und 45 h Selbststudium = 75 h
- Seminar "Ion beams and their use in material analysis and modification" (1 SWS) = 15 h Präsenzzeit und 60 h Selbststudium = 75 h

**Arbeitsaufwand** 5 LP = 150 Arbeitsstunden (Workload)

**Verwendbarkeit**

- B.Sc. IPSP
- B.Sc. Physik

**Ziele**

Die Studierenden sind nach der erfolgreichen Teilnahme am Kurs in der Lage

- sich, aufbauend auf einer soliden physikalischen Grundausbildung, eine aktuelle Anwendung von Ionenstrahlen in Wissenschaft und Technik selbstständig zu erschließen und in Form einer Präsentation darzustellen
- Methoden und Herausforderungen der Ionenstrahltechnik zu erklären und zu bewerten
- das erlernte Wissen auf hypothetische Einsatzszenarien anzuwenden

**Inhalt**

In der Vorlesung werden Erzeugung und Anwendung von Ionenstrahlen behandelt. Im Bereich der Ionenimplantation werden dabei die klassischen Anwendungen im Bereich der Halbleitertechnik aufgezeigt und gleichzeitig die Grundlagen für das Verständnis der Anwendung von Ionenstrahlen zur Erzeugung quantenmechanischer Systeme gelegt.

Ein weiterer Schwerpunkt der Vorlesung liegt auf der Vermittlung von Techniken der Ionenstrahlanalytik.

Themenkomplexe:

Beschleunigertechnik, Interaktion von Ionen mit Materie, Ionenimplantation, Verfahren der Ionenstrahlanalyse

**Teilnahmevoraussetzungen** keine

**Literaturangabe**

Schatz/Weidinger "Nukleare Festkörperphysik" Teubner  
 Demtröder "Experimentalphysik 4" Springer  
 Weitere Literatur wird im Rahmen der Lehrveranstaltungen bekanntgegeben.

**Vergabe von Leistungspunkten**

Leistungspunkte werden mit erfolgreichem Abschluss der Module vergeben.  
 Näheres regelt die Prüfungsordnung

**Prüfungsleistungen und -vorleistungen**

<b>Modulprüfung: Mündliche Prüfung 30 Min., mit Wichtung: 1</b> <i>Prüfungsvorleistung: Referat (15 Min.)</i>	
	Vorlesung "Ion beams and their use in material analysis and modification" (2SWS)
	Seminar "Ion beams and their use in material analysis and modification" (1SWS)

## Master of Science International Physics Studies Program (ab WS 2023/24)

Akademischer Grad	Modulnummer	Modulform
Master of Science	12-PHY-BMWQTPR	Wahlpflicht

### Modultitel Quantum Technology - Lab Course

**Modultitel (englisch)** Quantum Technology - Lab Course

**Empfohlen für:** 1. Semester

**Verantwortlich** Leiter:in der Abteilung Angewandte Quantensysteme

**Dauer** 1 Semester

**Modulturnus** jedes Sommersemester

**Lehrformen** • Praktikum "Quantum Technology - Lab Course" (3 SWS) = 45 h Präsenzzeit und 105 h Selbststudium = 150 h

**Arbeitsaufwand** 5 LP = 150 Arbeitsstunden (Workload)

**Verwendbarkeit** • B.Sc. International Physics Studies Program  
• B.Sc. Physik

**Ziele** Die Studierenden sind nach der erfolgreichen Teilnahme am Kurs in der Lage

- Ionenstrahlanalytik, –modifikation und optische Messmethoden selbstständig anzuwenden
- aus physikalischen Messungen Zusammenhänge zu erkennen, in einer zusammenhängenden Arbeit zu diskutieren sowie in Form einer Präsentation darzustellen
- sich dazu in der Gruppe zu organisieren und Aufgaben zu koordinieren.

**Inhalt** Der Schwerpunkt des Praktikums liegt in Versuchen zum Vertiefen des in den zugeordneten Vorlesungen erworbenen Wissens durch praktische Anwendung. Dazu wird den Studierenden Material zur Verfügung gestellt das zur vorbereitenden Einarbeitung auf die Versuche im Bereich Ionenstrahlung und Optik an Defektzentren dient. Nachgelagert findet außerdem eine tiefergehende Einführung in die zur Auswertung erforderlichen Messprogramme statt. Themenkomplexe:  
Beschleunigertechnik, Interaktion von Ionen mit Materie, Ionenimplantation, Verfahren der Ionenstrahlanalyse und Modifikation, Verfahren zur Erzeugung und Charakterisierung von einzelnen Defektzentren, Konfokalmikroskopie

**Teilnahmevoraussetzungen** Teilnahme am Modul 12-PHY-BMWQT1

**Literaturangabe** Schatz/Weidinger "Nukleare Festkörperphysik" Teubner  
Demtröder "Experimentalphysik 4" Springer  
Vorbereitungsmaterialien des Lehrstuhls NFP

**Vergabe von Leistungspunkten** Leistungspunkte werden mit erfolgreichem Abschluss der Module vergeben. Näheres regelt die Prüfungsordnung

**Prüfungsleistungen und -vorleistungen**

<b>Modulprüfung: Referat (30 Min.) mit schriftlicher Ausarbeitung (3 Wochen), mit Wichtung: 1</b>
<i>Prüfungsvorleistung: Praktikumsleistung (1 Protokoll, Bearbeitungsdauer 3 Wochen)</i>

	Praktikum "Quantum Technology - Lab Course" (3SWS)
--	--

## Master of Science International Physics Studies Program (ab WS 2023/24)

Akademischer Grad	Modulnummer	Modulform
Master of Science	12-PHY-BMWSUM	Wahlpflicht

<b>Modultitel</b>	<b>Fundamentals of Magnetism</b>
<b>Modultitel (englisch)</b>	Fundamentals of Magnetism
<b>Empfohlen für:</b>	1. Semester
<b>Verantwortlich</b>	Leiter:in der Abteilung "Supraleitung und Magnetismus"
<b>Dauer</b>	1 Semester
<b>Modulturnus</b>	mindestens einmal alle 2 Jahre
<b>Lehrformen</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Vorlesung "Fundamentals of Magnetism" (2 SWS) = 30 h Präsenzzeit und 45 h Selbststudium = 75 h</li> <li>• Übung "Magnetism" (2 SWS) = 30 h Präsenzzeit und 45 h Selbststudium = 75 h</li> </ul>
<b>Arbeitsaufwand</b>	5 LP = 150 Arbeitsstunden (Workload)
<b>Verwendbarkeit</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- B.Sc. Physik</li> <li>- B.Sc. International Physics Studies Program (Honours)</li> <li>- M.Sc. IPSP</li> </ul>
<b>Ziele</b>	<p>Die Studierenden</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- erschließen sich, aufbauend auf einer soliden physikalischen Grundbildung, ein Forschungsgebiet der physikalischen Institute;</li> <li>- werden mit den wichtigsten Phänomenen des Magnetismus vertraut;</li> <li>- lernen aktuelle Forschungsthemen und typische Anwendungen der magnetischen Phänomene kennen.</li> </ul>
<b>Inhalt</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Magnetisierung und Suszeptibilität. Erzeugung magnetischer Felder</li> <li>- Magnetismus von Atomen und Ionen. Curie und van Vleck Paramagnetismus. Kristallfeld.</li> <li>- Magnetische Wechselwirkungen</li> <li>- Magnetische Modelle nach Heisenberg und Ising. Quanteneffekte und Quantenzustände in Magnetismus.</li> <li>- Magnetische Ordnung. Ferromagneten: Eigenschaften und Anwendungen. Antiferromagneten.</li> <li>- Magnetische Anregungen. Magnonics.</li> <li>- Magnetische Kristallographie, Neutronenstreuung</li> <li>- Exotische magnetische Zustände: Spin-Eis und magnetische Monopole; Spinflüssigkeit; Skyrmionen.</li> </ul>
<b>Teilnahmevoraussetzungen</b>	keine
<b>Literaturangabe</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- S. Blundell: "Magnetism in Condensed Matter"</li> <li>- J. Stöhr, H.C. Siegmann: "Magnetism: From fundamentals to nanoscale dynamics"</li> </ul>
<b>Vergabe von Leistungspunkten</b>	Leistungspunkte werden mit erfolgreichem Abschluss des Moduls vergeben. Näheres regelt die Prüfungsordnung.

**Prüfungsleistungen und -vorleistungen****Modulprüfung: Mündliche Prüfung 30 Min., mit Wichtung: 1**

*Prüfungsvorleistung: Zweiwöchentlich ausgegebene Hausaufgaben aus dem Bereich des Modulinhalts. Für die Lösung werden Punkte vergeben. Voraussetzung für die Zulassung zur Prüfung ist der Erwerb von 50% der möglichen Punkte des gesamten Semesters*

	Vorlesung "Fundamentals of Magnetism" (2SWS)
	Übung "Magnetism" (2SWS)

## Master of Science International Physics Studies Program (ab WS 2023/24)

Akademischer Grad	Modulnummer	Modulform
Master of Science	12-PHY-BMWXAS2	Wahlpflicht

<b>Modultitel</b>	<b>Stellar Physics Laboratory</b>
<b>Modultitel (englisch)</b>	Stellar Physics Laboratory
<b>Empfohlen für:</b>	1. Semester
<b>Verantwortlich</b>	Leiter:in der Abteilung Angewandte Quantensysteme in Zusammenarbeit mit der Thüringer Landessternwarte Tautenburg
<b>Dauer</b>	1 Semester
<b>Modulturnus</b>	jährlich
<b>Lehrformen</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Praktikum "Stellar Physics Laboratory" (2 SWS) = 30 h Präsenzzeit und 120 h Selbststudium = 150 h</li> </ul>
<b>Arbeitsaufwand</b>	5 LP = 150 Arbeitsstunden (Workload)
<b>Verwendbarkeit</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- B.Sc. Physik</li> <li>- B.Sc. IPSP</li> </ul>
<b>Ziele</b>	<p>Die Studierenden</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- eignen sich die grundlegende Kenntnis über die moderne Beobachtungstechnik im Bereich der Sternspektroskopie an</li> <li>- erlernen, wie Beobachtungen vorbereitet und durchgeführt werden</li> <li>- erlernen, wie Sternspektren ausgewertet werden.</li> </ul>
<b>Inhalt</b>	<p>Im ersten Teil erlernen die Studierenden, wie spezifiziert wird, was beobachtet werden soll, wie es gemacht werden soll und welche Ergebnisse erwartet werden. In diesem Teil erlernen die Studierenden auch wie astronomische Spektrografen funktionieren und welche Detektoren in der optischen Astronomie verwendet werden und wie sie funktionieren. Die Studierenden erlernen den Umgang mit der Teleskopsoftware.</p> <p>Im zweiten Teil führen die Studierenden die Messungen mit dem 2m-Alfred-Jensch-Teleskop selbständig durch (Arbeitsort: Observatorium Tautenburg).</p> <p>Im dritten Teil erlernen die Studierenden wie Echelle-Spektren ausgewertet werden und welche physikalischen Größen der Sterne sich wie aus den Spektren ableiten lassen.</p>
<b>Teilnahmevoraussetzungen</b>	Teilnahme am Modul "Stellar Physics" (12-PHY-BW3XAS1)
<b>Literaturangabe</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Francis LeBlanc, An Introduction to Stellar Astrophysics</li> <li>- Rirchard O. Gray und Christopher J. Corbally, Stellar Spectral Classification</li> </ul>
<b>Vergabe von Leistungspunkten</b>	Leistungspunkte werden mit erfolgreichem Abschluss des Moduls vergeben. Näheres regelt die Prüfungsordnung.

**Prüfungsleistungen und -vorleistungen**

<b>Modulprüfung: Praktikumsleistung (1 Protokoll (Bearbeitungsdauer 6 Wochen)), mit Wichtung: 1</b>	
	Praktikum "Stellar Physics Laboratory" (2SWS)



## Master of Science International Physics Studies Program (ab WS 2023/24)

Akademischer Grad	Modulnummer	Modulform
Master of Science	12-PHY-BMWXAS3	Wahlpflicht

<b>Modultitel</b>	<b>Extragalactic Astronomy and Cosmology</b>
<b>Modultitel (englisch)</b>	Extragalactic Astronomy and Cosmology
<b>Empfohlen für:</b>	1. Semester
<b>Verantwortlich</b>	Leiter:in der Abteilung Angewandte Quantensysteme in Zusammenarbeit mit der Thüringer Landessternwarte Tautenburg
<b>Dauer</b>	1 Semester
<b>Modulturnus</b>	jährlich
<b>Lehrformen</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Vorlesung "Extragalactic Astronomy and Cosmology" (2 SWS) = 30 h Präsenzzeit und 45 h Selbststudium = 75 h</li> <li>• Seminar "Extragalactic Astronomy and Cosmology" (2 SWS) = 30 h Präsenzzeit und 45 h Selbststudium = 75 h</li> </ul>
<b>Arbeitsaufwand</b>	5 LP = 150 Arbeitsstunden (Workload)
<b>Verwendbarkeit</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- B.Sc. Physik</li> <li>- B.Sc. IPSP</li> </ul>
<b>Ziele</b>	<p>Die Studierenden:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- verfügen über grundlegende Kenntnisse hinsichtlich des Aufbaus von Galaxien, ihrer Erscheinungsformen und Entwicklung, der großräumigen Struktur im Universum sowie der Formulierung von kosmologischen Weltmodellen und ihrer Überprüfung durch Beobachtungen,</li> <li>- kennen in Grundzügen die diesen Phänomenen zu Grunde liegenden physikalischen Zusammenhänge,</li> <li>- kennen einige moderne astronomische Beobachtungsmethoden und</li> <li>- können sich ein aktuelles Forschungsgebiet erschließen.</li> </ul>
<b>Inhalt</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Aufbau der Milchstraße</li> <li>- grundlegende kosmologische Weltmodelle und ihre Überprüfung durch Beobachtungen</li> <li>- Aufbau, Entwicklung und Klassifizierung von Galaxien, insbesondere auch von aktiven Galaxienkernen</li> <li>- Galaxienhaufen und großräumige Struktur im Universum</li> <li>- Nachweise für das Vorhandensein von Dunkler Materie und Dunkler Energie</li> <li>- wichtige, aktuelle Beobachtungsprojekte in verschiedensten Wellenlängenbereichen</li> </ul>
<b>Teilnahmevoraussetzungen</b>	keine
<b>Literaturangabe</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- P. Schneider, Extragalactic Astronomy and Cosmology, Springer 2015</li> <li>- A. Liddle, An Introduction into Modern Cosmology, Wiley 2003</li> </ul>
<b>Vergabe von Leistungspunkten</b>	Leistungspunkte werden mit erfolgreichem Abschluss des Moduls vergeben. Näheres regelt die Prüfungsordnung.

**Prüfungsleistungen und -vorleistungen**

<b>Modulprüfung: Mündliche Prüfung 30 Min., mit Wichtung: 1</b>	
<i>Prüfungsvorleistung: Referat (30 Min.)</i>	
	Vorlesung "Extragalactic Astronomy and Cosmology" (2SWS)
	Seminar "Extragalactic Astronomy and Cosmology" (2SWS)

## Master of Science International Physics Studies Program (ab WS 2023/24)

Akademischer Grad	Modulnummer	Modulform
Master of Science	12-PHY-BMWXAS4	Wahlpflicht

### Modultitel **Extragalactic Astronomy Laboratory**

**Modultitel (englisch)** Extragalactic Astronomy Laboratory

**Empfohlen für:** 1. Semester

**Verantwortlich** Leiter:in der Abteilung Angewandte Quantensysteme in Zusammenarbeit mit der Thüringer Landessternwarte Tautenburg

**Dauer** 1 Semester

**Modulturnus** jährlich

**Lehrformen** • Praktikum "Extragalactic Astronomy Laboratory" (2 SWS) = 30 h Präsenzzeit und 120 h Selbststudium = 150 h

**Arbeitsaufwand** 5 LP = 150 Arbeitsstunden (Workload)

**Verwendbarkeit** - B.Sc. Physik  
- B.Sc. IPSP

**Ziele** Die Studierenden

- kennen einige moderne Beobachtungsmethoden der Extragalaktischen Astronomie,
- beherrschen verschiedene Methoden zur Darstellung und Analyse von Beobachtungsdaten, insbesondere im Bereich von Radio-, Infrarot-, optischen und Röntgenwellenlängen,
- kennen statische Methoden zur Analyse der Daten und können die Unsicherheiten der Analyseergebnisse quantifizieren,
- kennen verschiedene Ressourcen insbesondere von frei verfügbaren Daten ("Open Data") zur multi-Wellenlängenanalyse von extragalaktischen Quellen

**Inhalt**

- Beobachtungsmethoden der Radioastronomie, der Infrarot-, der optischen sowie der Röntgenastronomie
- Darstellung von Beobachtungen in den verschiedenen Wellenlängenbereichen mit z.B. ds9 und CASA,
- Erstellen von Abbildungen, beispielsweise mit Python/astropy
- Bestimmung von absoluten Helligkeiten sowie deren Unsicherheiten
- Arbeiten mit größeren Stichproben
- Interpretation von Galaxienspektren, Klassifikation von Galaxien
- Analyse von Einzelobjekten mit Hilfe der Auswertung von Multiwellenlängenbeobachtungen

**Teilnahmevoraussetzungen** Teilnahme am Modul "Extragalactic Astronomy and Cosmology" (12-PHY-BMWXAS3)

**Literaturangabe** Praktikumsanleitung

**Vergabe von Leistungspunkten** Leistungspunkte werden mit erfolgreichem Abschluss des Moduls vergeben. Näheres regelt die Prüfungsordnung.

**Prüfungsleistungen und -vorleistungen**

<b>Modulprüfung: Praktikumsleistung (1 Protokoll (Bearbeitungsdauer 6 Wochen)), mit Wichtung: 1</b>	
	Praktikum "Extragalactic Astronomy Laboratory" (2SWS)

## Master of Science International Physics Studies Program (ab WS 2023/24)

Akademischer Grad	Modulnummer	Modulform
Master of Science	12-PHY-BW3CS1	Wahlpflicht

### Modultitel Introduction to Computer Simulation I

**Modultitel (englisch)** Introduction to Computer Simulation I

**Empfohlen für:** 1. Semester

**Verantwortlich** Leiter:in der Abteilung Computer-orientierte Quantenfeldtheorie

**Dauer** 1 Semester

**Modulturnus** jedes Wintersemester

**Lehrformen**

- Vorlesung "Computer Simulation I" (2 SWS) = 30 h Präsenzzeit und 45 h Selbststudium = 75 h
- Übung "Computer Simulation I" (2 SWS) = 30 h Präsenzzeit und 45 h Selbststudium = 75 h

**Arbeitsaufwand** 5 LP = 150 Arbeitsstunden (Workload)

**Verwendbarkeit**

- B.Sc. Physik
- B.Sc. IPSP
- Lehramt Physik

**Ziele** Die Studierenden sind nach der aktiven Teilnahme am Modul in der Lage, die wesentlichen Konzepte und Methoden von Computersimulationen einzuordnen und unterschiedliche Lösungsstrategien zu analysieren. Sie kennen gängige Verfahren und deren Anwendung auf Beispiele aus der statistischen Physik. Die Studierenden können eigene Programmcodes für Modellprobleme erarbeiten, deren Leistungsfähigkeit testen und die Aussagekraft durch Vergleiche mit bekannten Grenzfällen überprüfen.

**Inhalt**

Molekulare Modellierung von Vielteilchensystemen:

- Grundbegriffe der Statistischen Physik (Statistische Gesamtheiten und Mittelwertbildung, Verteilungs- und Korrelationsfunktionen, thermodynamische Funktionen und Transportkoeffizienten)
- Computersimulationen von Vielteilchensystemen (Prinzipielle Methoden und Algorithmen, statistisch-mechanische Auswertungen)
- Molekulardynamik (MD) im NVE - Ensemble und mit Thermalisierung (NVT)
- Metropolis Monte-Carlo (MC)
- Auswertungen und Beziehung zum Experiment
- Anwendungen der MD- und MC-Methoden auf einfache Systeme

**Teilnahmevoraussetzungen** keine

**Literaturangabe**

- M.P. Allen and D.J. Tildesley, Computer simulation of liquids, Clarendon Press, Oxford, 1987.
- R. Haberlandt, S. Fritzsche, G. Peinel, K. Heinzinger, Molekulardynamik - Grundlagen und Anwendungen, mit Kapitel von H.L. Vörtlter, Abriss der Monte-Carlo-Methode, Vieweg, Wiesbaden, 1995
- D. Frenkel and B. Smit, Understanding Molecular Simulations; From Algorithms to Applications, Academic Press, San Diego, London, 2002

**Vergabe von Leistungspunkten**

Leistungspunkte werden mit erfolgreichem Abschluss der Module vergeben.  
Näheres regelt die Prüfungsordnung

**Prüfungsleistungen und -vorleistungen****Modulprüfung: Klausur 60 Min., mit Wichtung: 1**

*Prüfungsvorleistung: Wöchentlich ausgegebene Übungsaufgaben zu Fragen aus dem Bereich des Modulinhalts. Für die Lösung werden Punkte vergeben. Voraussetzung für die Zulassung zur Prüfung ist der Erwerb von 50% der möglichen Punkte des gesamten Semesters.*

	Vorlesung "Computer Simulation I" (2SWS)
	Übung "Computer Simulation I" (2SWS)

## Master of Science International Physics Studies Program (ab WS 2023/24)

Akademischer Grad	Modulnummer	Modulform
Master of Science	12-PHY-BW3HL1	Wahlpflicht

### Modultitel **Semiconductor Physics I**

**Modultitel (englisch)** Semiconductor Physics I

**Empfohlen für:** 1. Semester

**Verantwortlich** Leiter:in der Abteilung Halbleiterphysik

**Dauer** 1 Semester

**Modulturnus** jedes Wintersemester

**Lehrformen**

- Vorlesung "Semiconductor Physics I" (4 SWS) = 60 h Präsenzzeit und 120 h Selbststudium = 180 h
- Übung "Semiconductor Physics I" (1 SWS) = 15 h Präsenzzeit und 105 h Selbststudium = 120 h

**Arbeitsaufwand** 10 LP = 300 Arbeitsstunden (Workload)

**Verwendbarkeit**

- B.Sc. Physik
- B.Sc. IPSP

**Ziele**

Die Studierenden:

- erschließen sich, aufbauend auf einer soliden physikalischen Grundbildung, ein Forschungsgebiet der physikalischen Institute;
- eignen sich die Grundlagen der Halbleiterphysik an.

**Inhalt**

Es werden die Grundlagen der Halbleiterphysik erklärt, u.a. Kristallaufbau, Gitterschwingungen, Bandstruktur, Dotierungen, Transportphänomene, Oberflächen, optische Eigenschaften, Ladungsträger-Rekombination und Heterostrukturen.

**Teilnahmevoraussetzungen** keine

**Literaturangabe**

- M. Grundmann, The Physics of Semiconductors, Springer
- K. Seeger, Halbleiterphysik I und II, Vieweg und Teubner

**Vergabe von Leistungspunkten** Leistungspunkte werden mit erfolgreichem Abschluss der Module vergeben. Näheres regelt die Prüfungsordnung

### Prüfungsleistungen und -vorleistungen

<b>Modulprüfung: Klausur 180 Min., mit Wichtung: 1</b>	
<i>Prüfungsvorleistung: Zweiwöchentlich ausgegebene Hausaufgaben aus dem Bereich des Modulinhalts. Für die Lösung werden Punkte vergeben. Voraussetzung für die Zulassung zur Prüfung ist der Erwerb von 50% der möglichen Punkte des gesamten Semesters.</i>	
	Vorlesung "Semiconductor Physics I" (4SWS)
	Übung "Semiconductor Physics I" (1SWS)

## Master of Science International Physics Studies Program (ab WS 2023/24)

Akademischer Grad	Modulnummer	Modulform
Master of Science	12-PHY-BW3HL2	Wahlpflicht

### Modultitel **Laboratory Work in Semiconductors I**

**Modultitel (englisch)** Laboratory Work in Semiconductors I

**Empfohlen für:** 1. Semester

**Verantwortlich** Leiter:in der Abteilung Halbleiterphysik

**Dauer** 1 Semester

**Modulturnus** jedes Wintersemester

**Lehrformen** • Praktikum "Laboratory Work in Semiconductors I" (2 SWS) = 30 h Präsenzzeit und 120 h Selbststudium = 150 h

**Arbeitsaufwand** 5 LP = 150 Arbeitsstunden (Workload)

**Verwendbarkeit** - B.Sc. Physik  
- B.Sc. IPSP

**Ziele** Die Studierenden

- erwerben theoretische und experimentelle Kenntnisse über grundlegende Herstellungs- und Charakterisierungsmethoden der modernen Halbleiterphysik;
- können Standardmethoden der experimentellen Halbleiterphysik selbstständig anwenden und bewerten;
- lernen, sich in Halbleiter-physikalische Aufgabenstellungen einzuarbeiten, diese kreativ umzusetzen und die gewonnenen Resultate zu präsentieren und zu verteidigen.

**Inhalt** Das Modul begleitet das Modul Halbleiterphysik I. Es werden Experimente an modernen Apparaturen der Arbeitsgruppe Halbleiterphysik durchgeführt, die auch im täglichen Einsatz in aktuellen Forschungsprojekten verwendet werden. Das Modul baut auf den im Bachelorstudium gewonnenen Kompetenzen zur praktischen Durchführung von Versuchen auf und ergänzt die Spezialisierung im Bereich Halbleiterphysik. Die Studierenden führen pro Semester 8 vorgegebene Versuche nach vorgegebenem Zeitplan durch. Das Praktikum umfasst die Züchtung dünner Filme (Pulsed Laser Deposition) und grundlegende Charakterisierungsmethoden der modernen Halbleiterforschung zur Struktur (SEM, RHEED, XRD), dem elektrischen Transport (Halleffekt), der strahlenden Rekombination (Photolumineszenz), zur dielektrischen Funktion (Ellipsometrie) und zu ferroischen Eigenschaften (ferroelektrische und magnetische Hysteresen). Die Vorbereitung auf die Versuche erfolgt in Eigenarbeit an Hand der ausführlichen Skripte. Die Versuche werden unter Anleitung eines Betreuers durchgeführt. Die Versuchsauswertung erfolgt durch ein vorzulegendes Protokoll mit mündlichem Testat, die jeweils benotet werden.

**Teilnahmevoraussetzungen** keine; Der Besuch der Vorlesung des Moduls Halbleiterphysik I ist empfehlenswert.

**Literaturangabe** - M. Grundmann: The Physics of Semiconductors, An Introduction including



Devices and Nanophysics  
Springer, Heidelberg, 2006; Revised and extended 2nd edition 2009.

**Vergabe von Leistungspunkten**

Leistungspunkte werden mit erfolgreichem Abschluss der Module vergeben.  
Näheres regelt die Prüfungsordnung

**Prüfungsleistungen und -vorleistungen**

<b>Modulprüfung: Praktikumsleistung (8 Versuche, 4 Protokolle (Bearbeitungsdauer 4 Wochen), 8 Abtestate), mit Wichtung: 1</b>	
	Praktikum "Laboratory Work in Semiconductors I" (2SWS)

## Master of Science International Physics Studies Program (ab WS 2023/24)

Akademischer Grad	Modulnummer	Modulform
Master of Science	12-PHY-BW3MO1	Wahlpflicht

<b>Modultitel</b>	<b>Introduction to Photonics I</b>
<b>Modultitel (englisch)</b>	Introduction to Photonics I
<b>Empfohlen für:</b>	1. Semester
<b>Verantwortlich</b>	Leiter:in der Abteilung Molekulare Nanophotonik
<b>Dauer</b>	1 Semester
<b>Modulturnus</b>	jedes Wintersemester
<b>Lehrformen</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Vorlesung "Introduction to Photonics I" (2 SWS) = 30 h Präsenzzeit und 45 h Selbststudium = 75 h</li> <li>• Übung "Introduction to Photonics I" (1 SWS) = 15 h Präsenzzeit und 60 h Selbststudium = 75 h</li> </ul>
<b>Arbeitsaufwand</b>	5 LP = 150 Arbeitsstunden (Workload)
<b>Verwendbarkeit</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• B.Sc. Physik</li> <li>• B.Sc. IPSP</li> </ul>
<b>Ziele</b>	<p>Die Studierenden</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- erhalten eine vertiefende Einführung in Prinzipien der Optik</li> <li>- erlernen spezielle Rechenmethoden der Optik</li> <li>- erhalten einen Überblick zur Manipulation von Licht mit Hilfe aktiver optischer Bauelemente</li> <li>- erhalten einen Einblick in die Eigenschaften einzelner Photonen und deren Präparation</li> <li>- erlernen die Grundzüge der Quantenoptik und Quantenkryptographie</li> </ul>
<b>Inhalt</b>	<p>Im Kurs werden vertiefende Kenntnisse zur Strahlen-, Wellen- und elektromagnetischen Optik vermittelt. Speziell werden aktive optische Bauelemente wie z.B. aus den Bereichen der Elektro- und Akustooptik erläutert. Weiterhin soll in das Gebiet der Photonenoptik eingeführt und Probleme der Photonenstatistik, der Einzelphotonenquellen und der Quantenoptik/Quantenkryptographie erläutert werden.</p> <p>Im Seminar werden konkrete Rechenbeispiele aus aktuellen Forschungsarbeiten auf dem Gebiet der Photonik besprochen und die experimentelle Realisation verschiedener Messverfahren beispielhaft erläutert.</p>
<b>Teilnahmevoraussetzungen</b>	keine
<b>Literaturangabe</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- B. E. A. Saleh / M. C. Teich: Fundamentals of Photonics, Wiley</li> <li>- D. Meschede: Optics, Light and Lasers: The Practical Approach to Modern Aspects of Photonics and Laser Physics, Wiley-VCH</li> <li>- L. Mandel / E. Wolf: Optical Coherence and Quantum Optics, Cambridge University Press</li> <li>- E. Hecht: Optics, Addison-Wesley</li> </ul>

**Vergabe von Leistungspunkten**

Leistungspunkte werden mit erfolgreichem Abschluss der Module vergeben.  
Näheres regelt die Prüfungsordnung

**Prüfungsleistungen und -vorleistungen**

Modulprüfung: Mündliche Prüfung 30 Min., mit Wichtung: 1	
	Vorlesung "Introduction to Photonics I" (2SWS)
	Übung "Introduction to Photonics I" (1SWS)

## Master of Science International Physics Studies Program (ab WS 2023/24)

Akademischer Grad	Modulnummer	Modulform
Master of Science	12-PHY-BW3MQ1	Wahlpflicht

### Modultitel **Spin Resonance I**

**Modultitel (englisch)** Spin Resonance I

**Empfohlen für:** 1. Semester

**Verantwortlich** Leiter:in der Abteilung Magnetische Resonanz komplexer Quantenfestkörper

**Dauer** 1 Semester

**Modulturnus** jedes Wintersemester

**Lehrformen**

- Vorlesung "Spin Resonance I" (2 SWS) = 30 h Präsenzzeit und 45 h Selbststudium = 75 h
- Übung "Spin Resonance I" (2 SWS) = 30 h Präsenzzeit und 45 h Selbststudium = 75 h

**Arbeitsaufwand** 5 LP = 150 Arbeitsstunden (Workload)

**Verwendbarkeit**

- B.Sc. Physik
- B.Sc. IPSP

**Ziele**

Die Studierenden

- eignen sich grundlegende Kenntnisse auf dem Gebiet der Spinresonanz an,
- lernen die Grundlagen der Quantentheorie der Spinresonanz
- lernen Grundlagen des experimentellen Nachweises

**Inhalt**

- Dirac-Formulierung der Quantentheorie der Spinresonanz
- Dichteoperator-Formalismus für Spinresonanz
- Grundlagen Hochfrequenz-Messtechnik
- Elektronischer Nachweis und digitale Aufzeichnung rauschnaher Hochfrequenz-Signale

**Teilnahmevoraussetzungen** keine

**Literaturangabe**

- Slichter, C.P. Principles of Magnetic Resonance
- M. H. Levitt, Spin Dynamics

**Vergabe von Leistungspunkten** Leistungspunkte werden mit erfolgreichem Abschluss der Module vergeben. Näheres regelt die Prüfungsordnung

### Prüfungsleistungen und -vorleistungen

Modulprüfung: Klausur 90 Min., mit Wichtung: 1	
	Vorlesung "Spin Resonance I" (2SWS)
	Übung "Spin Resonance I" (2SWS)

## Master of Science International Physics Studies Program (ab WS 2023/24)

Akademischer Grad	Modulnummer	Modulform
Master of Science	12-PHY-BW3QN1	Wahlpflicht

### Modultitel Quantum Physics of Nanostructures

**Modultitel (englisch)** Quantum Physics of Nanostructures

**Empfohlen für:** 1. Semester

**Verantwortlich** Direktor:in des Instituts für Theoretische Physik

**Dauer** 1 Semester

**Modulturnus** jedes Wintersemester

**Lehrformen**

- Vorlesung "Quantum Physics of Nanostructures" (3 SWS) = 45 h Präsenzzeit und 45 h Selbststudium = 90 h
- Übung "Quantum Physics of Nanostructures" (1 SWS) = 15 h Präsenzzeit und 45 h Selbststudium = 60 h

**Arbeitsaufwand** 5 LP = 150 Arbeitsstunden (Workload)

**Verwendbarkeit**

- B.Sc. Physik
- B.Sc. IPSP

**Ziele** Die Studierenden lernen die wesentlichen Konzepte und die theoretische Beschreibung von Quanteneffekten auf der Nanoskala kennen.

**Inhalt** Wesentliche Inhalte sind:

- Quantendrähte und Quantenpunkte
- Quanteninterferenz
- Dephasierung, d.h. Übergang von quantenmechanischem zu klassischem Verhalten
- Aharonov-Bohm Effekt und persistente Ströme
- Graphen
- Quanten-Hall Effekt
- Mesoskopische Supraleitung

**Teilnahmevoraussetzungen** keine

**Literaturangabe**

Y. Imry, Introduction to mesoscopic physics, Oxford University Press  
 T. Ihn, Semiconductor Nanostructures, Oxford University Press  
 E. Akkermans and G. Montambaux, Mesoscopic Physics of Electrons and Photons, Cambridge University Press  
 Y.V. Nazarov and Y.M. Blanter, Quantum Transport: Introduction to Nanoscience, Cambridge University Press

**Vergabe von Leistungspunkten** Leistungspunkte werden mit erfolgreichem Abschluss der Module vergeben. Näheres regelt die Prüfungsordnung

**Prüfungsleistungen und -vorleistungen**

<b>Modulprüfung: Referat 30 Min., mit Wichtung: 1</b>	
	Vorlesung "Quantum Physics of Nanostructures" (3SWS)
	Übung "Quantum Physics of Nanostructures" (1SWS)

## Master of Science International Physics Studies Program (ab WS 2023/24)

Akademischer Grad	Modulnummer	Modulform
Master of Science	12-PHY-BW3SU1	Wahlpflicht

### Modultitel **Superconductivity I**

**Modultitel (englisch)** Superconductivity I

**Empfohlen für:** 1. Semester

**Verantwortlich** Leiter:in der Abteilung Supraleitung und Magnetismus

**Dauer** 1 Semester

**Modulturnus** jedes Sommersemester

**Lehrformen**

- Vorlesung "Superconductivity I" (2 SWS) = 30 h Präsenzzeit und 70 h Selbststudium = 100 h
- Übung "Superconductivity I" (1 SWS) = 15 h Präsenzzeit und 35 h Selbststudium = 50 h

**Arbeitsaufwand** 5 LP = 150 Arbeitsstunden (Workload)

**Verwendbarkeit**

- B.Sc. Physik
- B.Sc. IPSP
- Lehramt Physik

**Ziele**

Die Studierenden

- erschließen sich, aufbauend auf einer soliden physikalischen Grundbildung, ein Forschungsgebiet der physikalischen Institute;
- werden mit den wichtigsten Phänomenen der Supraleitung vertraut;
- lernen typische Anwendungen der Supraleitung kennen.

**Inhalt**

- Phänomenologie der Supraleiter vom Typ I und Typ II
- Londonsche Theorie der Supraleitung
- Ginzburg-Landau-Theorie
- Problem der Verankerung von Flusslinien und ihre Bedeutung für Anwendungen

Die Lehrveranstaltungen werden in englischer Sprache gehalten. Studien- und Prüfungsleistungen sind in englischer Sprache zu erbringen.

**Teilnahmevoraussetzungen** keine

**Literaturangabe**

- D. R. Tilley and J. Tilley: Superfluidity and Superconductivity
- M. Tinkham: Introduction to Superconductivity
- R. P. Huebener: Magnetic Flux Structures in Superconductors
- P. G. de Gennes: Superconductivity of Metals and Alloys
- W. Buckel und R. Kleiner, Supraleitung

**Vergabe von Leistungspunkten** Leistungspunkte werden mit erfolgreichem Abschluss der Module vergeben. Näheres regelt die Prüfungsordnung

**Prüfungsleistungen und -vorleistungen****Modulprüfung: Mündliche Prüfung 45 Min., mit Wichtung: 1**

*Prüfungsvorleistung: Bearbeiten von Hausaufgaben auf vier Übungsblättern. Für die bewerteten Übungsblätter werden Punkte vergeben. Voraussetzung für die Zulassung zur Prüfung ist der Erwerb von 50% der möglichen Punkte.*

	Vorlesung "Superconductivity I" (2SWS)
	Übung "Superconductivity I" (1SWS)



## Master of Science International Physics Studies Program (ab WS 2023/24)

Akademischer Grad	Modulnummer	Modulform
Master of Science	12-PHY-BW3XAS1	Wahlpflicht

<b>Modultitel</b>	<b>Stellar Physics</b>
<b>Modultitel (englisch)</b>	Stellar Physics
<b>Empfohlen für:</b>	1. Semester
<b>Verantwortlich</b>	Leiter:in der Abteilung Angewandte Quantensysteme in Zusammenarbeit mit der Thüringer Landessternwarte Tautenburg
<b>Dauer</b>	1 Semester
<b>Modulturnus</b>	jährlich
<b>Lehrformen</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Vorlesung "Stellar Physics" (2 SWS) = 30 h Präsenzzeit und 45 h Selbststudium = 75 h</li> <li>• Seminar "Stellar Physics" (2 SWS) = 30 h Präsenzzeit und 45 h Selbststudium = 75 h</li> </ul>
<b>Arbeitsaufwand</b>	5 LP = 150 Arbeitsstunden (Workload)
<b>Verwendbarkeit</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• B.Sc. Physik</li> <li>• B.Sc. IPSP</li> </ul>
<b>Ziele</b>	<p>Die Studierenden</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- eignen sich grundlegende physikalische Kenntnisse über Aufbau und Entwicklung der Sterne an,</li> <li>- lernen moderne astronomische Beobachtungsmethoden kennen und einzuschätzen,</li> <li>- erschließen sich ein aktuelles Forschungsgebiet.</li> </ul>
<b>Inhalt</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- beobachtbare physikalische Eigenschaften von Sternen</li> <li>- Theorie des Sternaufbaus und der Sternentwicklung</li> <li>- Eigenschaften der stellaren Endstadien</li> <li>- Szenario der Entstehung von Sternen und Planetensystemen</li> <li>- Extrasolare Planeten</li> </ul>
<b>Teilnahmevoraussetzungen</b>	keine
<b>Literaturangabe</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Francis LeBlanc, An Introduction to Stellar Astrophysics</li> <li>- G.S. Bisnovatyi-Kogan, Fundamental Concepts and Stellar Equilibrium</li> <li>- G.S. Bisnovatyi-Kogan, Stellar Evolution and Stability</li> </ul>
<b>Vergabe von Leistungspunkten</b>	Leistungspunkte werden mit erfolgreichem Abschluss der Module vergeben. Näheres regelt die Prüfungsordnung

**Prüfungsleistungen und -vorleistungen****Modulprüfung: Mündliche Prüfung 25 Min., mit Wichtung: 1***Prüfungsvorleistung: Referat (30 Min.)*

	Vorlesung "Stellar Physics" (2SWS)
	Seminar "Stellar Physics" (2SWS)

## Master of Science International Physics Studies Program (ab WS 2023/24)

Akademischer Grad	Modulnummer	Modulform
Master of Science	12-PHY-MFS	Pflicht

### Modultitel **Research Practice**

**Modultitel (englisch)** Research Practice

**Empfohlen für:** 1. Semester

**Verantwortlich** Direktor:innen der Physikalischen Institute

**Dauer** 1 Semester

**Modulturnus** jedes Wintersemester

**Lehrformen** • Seminar "Departmental Seminar" (2 SWS) = 30 h Präsenzzeit und 420 h Selbststudium = 450 h

**Arbeitsaufwand** 15 LP = 450 Arbeitsstunden (Workload)

**Verwendbarkeit** M.Sc. Physik  
M.Sc. IPSP

**Ziele**

Fachliche Kompetenzen.  
Die Studierenden

- erlernen die effektive und umfassende Literaturrecherche zu einem speziellen Gebiet der Physik,
- wenden so gewonnene Ergebnisse in der Praxis an,
- erweitern ihre Spezialkenntnisse auf einem Forschungsgebiet entsprechend dem internationalen Forschungsstand,
- sind in der Lage an spezifischen Diskussionen ihres Spezialgebietes teilzunehmen,
- erlernen die Ausarbeitung eines wissenschaftlichen Arbeitsplans mit Arbeitszielen
- können eine Präsentation zu einem abgegrenzten Thema des Forschungsgebiets erstellen.

Soziale Kompetenzen.  
Die Studierenden

- können einen Vortrag über ein aktuelles Forschungsgebiet so strukturieren und halten, dass ein physikalisch gebildetes Publikum dem Vortrag gut folgen kann,
- beweisen sich erfolgreich in einer wissenschaftlichen Diskussion,
- beherrschen die englische Fachsprache in freier Rede und werden befähigt, auf internationalen Fachtagungen ihre Ergebnisse präsentieren zu können.

**Inhalt**

Dieses Modul ist Teil der Forschungsphase des Masterstudiums. Es dient der Einarbeitung in ein Spezialgebiet, das aus allen Teilgebieten der Physik an der Fakultät für Physik und Geowissenschaften und ihrer Forschungspartner gewählt werden kann. Die Studierenden erarbeiten sich unter Anleitung die wissenschaftlichen und technischen Grundlagen des Spezialgebiets und erfahren im Abteilungsseminar die Präsentation und Diskussion aktueller wissenschaftlicher Fragestellungen zum Spezialgebiet.

**Teilnahmevoraussetzungen** keine

**Literaturangabe** Hinweise zu Literaturangaben erfolgen in den Lehrveranstaltungen.

**Vergabe von Leistungspunkten**

Leistungspunkte werden mit erfolgreichem Abschluss des Moduls vergeben.  
Näheres regelt die Prüfungsordnung.

**Prüfungsleistungen und -vorleistungen**

Modulprüfung: Referat 45 Min., mit Wichtung: 1	
	Seminar "Departmental Seminar" (2SWS)

## Master of Science International Physics Studies Program (ab WS 2023/24)

Akademischer Grad	Modulnummer	Modulform
Master of Science	12-PHY-MWPAMR1	Wahlpflicht

<b>Modultitel</b>	<b>Magnetic Resonance and Imaging in Soft Matter</b>
<b>Modultitel (englisch)</b>	Magnetic Resonance and Imaging in Soft Matter
<b>Empfohlen für:</b>	1. Semester
<b>Verantwortlich</b>	Leiter:in der Abteilung Angewandte Magnetische Resonanz
<b>Dauer</b>	1 Semester
<b>Modulturnus</b>	jedes Sommersemester
<b>Lehrformen</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Vorlesung "Magnetic Resonance and Imaging in Soft Matter" (2 SWS) = 30 h Präsenzzeit und 45 h Selbststudium = 75 h</li> <li>• Übung "Magnetic Resonance and Imaging in Soft Matter" (2 SWS) = 30 h Präsenzzeit und 45 h Selbststudium = 75 h</li> </ul>
<b>Arbeitsaufwand</b>	5 LP = 150 Arbeitsstunden (Workload)
<b>Verwendbarkeit</b>	M Sc. Physics M Sc. International Physics Studies Program B.Sc. International Physics Studies Program (Honours)
<b>Ziele</b>	Die Studierenden <ul style="list-style-type: none"> <li>- erschließen sich ein aktuelles interdisziplinäres Forschungsgebiet der Magnetresonanz</li> <li>- eignen sich vertiefende Kenntnisse über kernmagnetische Relaxation Prozessen an</li> <li>- eignen sich vertiefende Kenntnisse über Diffusionsmessungen in Weiche-Materie-Systemen mit Hilfe von MR an</li> <li>- lernen Grundlagen von MR-Bildgebung</li> <li>- vertiefen ihre Kenntnisse durch das Anwenden ausgewählter Methoden in Übungen</li> </ul>
<b>Inhalt</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Grundlagen: Eigendrehimpuls in Magnetfeld</li> <li>- Relaxation in zufällig fluktuierenden Magnetfeldern</li> <li>- Bloch Gleichungen, BPP Theorie</li> <li>- Relaxationsmechanismen in Weicher Materie</li> <li>- Magnetfeldgradienten</li> <li>- Diffusion als Relaxations-Mechanismus</li> <li>- Bloch-Torrey-Gleichungen, q-Raum</li> <li>- Grundlagen der Transportmessungen, Pulssequenzen</li> <li>- Transport-Struktur-Korrelationen</li> <li>- Selektive Pulse</li> <li>- Bilderzeugung (MRT), k-Raum</li> <li>- MRT-Pulssequenzen</li> <li>- MR-Kontraste</li> <li>- Bilderzeugung in q-Raum</li> </ul> Hinweise zur Modulprüfung - das Portfolio besteht aus: <ul style="list-style-type: none"> <li>- drei schriftlichen Tests (jeweils 15 Min.) mit Schwerpunkt auf den Themen Relaxation, Diffusion und MRT</li> </ul>

- zwei Übungen die mit einem Experiment verbunden sind, einschließlich einer kurzen mündlichen Darstellung der Übungsergebnisse (bis zu 10 Min.)

**Teilnahmevoraussetzungen**

Teilnahme im Modul "Spinresonanz I" (12-PHY-BW3MQ1) ist empfohlen

**Literaturangabe**

Callaghan, P. T., Translational Dynamics & Magnetic Resonance  
Haacke, M. E. et al., Magnetic Resonance Imaging: Physical Principles and Sequence Design  
Kimmich, R., NMR: Tomography, Diffusometry, Relaxometry

**Vergabe von Leistungspunkten**

Leistungspunkte werden mit erfolgreichem Abschluss des Moduls vergeben.  
Näheres regelt die Prüfungsordnung.

**Prüfungsleistungen und -vorleistungen**

Modulprüfung: Portfolio, mit Wichtung: 1	
	Vorlesung "Magnetic Resonance and Imaging in Soft Matter" (2SWS)
	Übung "Magnetic Resonance and Imaging in Soft Matter" (2SWS)

## Master of Science International Physics Studies Program (ab WS 2023/24)

Akademischer Grad	Modulnummer	Modulform
Master of Science	12-PHY-MWPASM	Wahlpflicht

### Modultitel **Soft Matter and Biological Physics**

**Modultitel (englisch)** Soft Matter and Biological Physics

**Empfohlen für:** 1. Semester

**Verantwortlich** Studiendekan/in

**Dauer** 1 Semester

**Modulturnus** mindestens jedes zweite Semester

**Lehrformen**

- Vorlesung "Soft Matter and Biological Physics" (4 SWS) = 60 h Präsenzzeit und 120 h Selbststudium = 180 h
- Seminar "Soft Matter and Biological Physics" (2 SWS) = 30 h Präsenzzeit und 45 h Selbststudium = 75 h
- Übung "Soft Matter and Biological Physics" (1 SWS) = 15 h Präsenzzeit und 30 h Selbststudium = 45 h

**Arbeitsaufwand** 10 LP = 300 Arbeitsstunden (Workload)

**Verwendbarkeit**

- B.Sc. IPSP
- M.Sc. Physics
- M.Sc. Physik
- M.Sc. IPSP

**Ziele**

Die Studierenden erfassen tiefgreifende Begriffe, Phänomene und Konzepte auf verschiedenen Komplexitätsskalen der Physik der weichen Materie. Nach aktiver Teilnahme am Modul sind sie in der Lage fortgeschrittene Konzepte aus dem Bereich Physik der weichen Materie und der biologischen Physik in Beziehung zu setzen, und fundamentale Konzepte anzuwenden. Daraus resultierend können sie Sachverhalte argumentativ darstellen sowie begründen um neue Hypothesen und Fragestellungen zu formulieren.

**Inhalt**

Es werden hochaktuelle, relevante Themen der Felder Physik der weichen Materie und biologische Physik behandelt. Thematische Grundbausteine sind hierfür:

- Polymernetzwerke (verwoben, vernetzt, aktive Elemente)
- Nicht lineare Effekte und glasartiges Verhalten
- Statik und Dynamik von Netzwerken/Bündeln
- Flüssigkristalle
- Lipidmembranen
- Nicht-affines & Nicht-lineares Verhalten weicher Materie
- Viskoelastizität
- Zeit-Temperatur Superposition
- Nicht-Gleichgewichts Entmischung, Nicht-Gleichgewichts Fluktuationen
- Gleichgewichts Selbst-Assemblierung vs. Nicht-Gleichgewichts Selbst-Organisation
- Plastizität, aktives Verhalten, Brüche, nicht-lineare Eigenschaften
- Jamming Übergänge & Glasartiges Verhalten
- Nicht-Gleichgewichtsdynamik und Entropie in lebenden Systemen

**Teilnahmevoraussetzungen**

keine

**Literaturangabe**

- M. Doi, S.F. Edwards: The Theory of Polymer Dynamics (Oxford Science Publication)
- P.G. de Gennes and J. Prost: The Physics of Liquid Crystals (Oxford Academic Press)
- Florian Huber, Jörg Schnauß, Susanne Rönicke, Philipp Rauch, Karla Müller, Claus Fütterer, Josef Käs: Emergent complexity of the cytoskeleton: from single filaments to tissue, Advances in Physics, Volume 62, Issue 1 (2013)
- Bruce Alberts: Molecular Biology of the Cell (Taylor & Francis Ltd.)
- Current review of the field

**Vergabe von Leistungspunkten**

Leistungspunkte werden mit erfolgreichem Abschluss des Moduls vergeben. Näheres regelt die Prüfungsordnung.

**Prüfungsleistungen und -vorleistungen**

<b>Modulprüfung: Mündliche Prüfung 30 Min., mit Wichtung: 1</b>	
<i>Prüfungsvorleistung: Seminarvortrag mit Diskussion (30 Min.)</i>	
	Vorlesung "Soft Matter and Biological Physics" (4SWS)
	Seminar "Soft Matter and Biological Physics" (2SWS)
	Übung "Soft Matter and Biological Physics" (1SWS)



## Master of Science International Physics Studies Program (ab WS 2023/24)

Akademischer Grad	Modulnummer	Modulform
Master of Science	12-PHY-MWPCQM1	Wahlpflicht

### Modultitel **Practical Course: Quantum Theory of Condensed Matter**

**Modultitel (englisch)** Practical Course: Quantum Theory of Condensed Matter

**Empfohlen für:** 1. Semester

**Verantwortlich** Leitung der Abteilung Quantentheorie der kondensierten Materie

**Dauer** 1 Semester

**Modulturnus** jedes Semester

**Lehrformen** • Praktikum "Practical Course: Quantum theory of condensed matter" (2 SWS) = 30 h Präsenzzeit und 120 h Selbststudium = 150 h

**Arbeitsaufwand** 5 LP = 150 Arbeitsstunden (Workload)

**Verwendbarkeit** M.Sc. Physics  
M.Sc. Mathematical Physics  
M.Sc. International Physics Studies Program  
B.Sc. International Physics Studies Program (Honours)

**Ziele** Durch die aktive Teilnahme an diesem Modul werden die Studierenden mit den neuesten Entwicklungen in der Quantentheorie der kondensierten Materie vertraut gemacht. Sie erlernen Grundlagen der Literaturrecherche und können wichtige Ergebnisse ausgewählter Arbeiten anhand von aktuellen Arbeiten in Fachjournalen überprüfen. Die Ergebnisse sollen in der Arbeitsgruppe diskutiert und vorgetragen sowie in einer schriftlichen Ausarbeitung dargestellt werden.

**Inhalt** Korrelierte elektronische Systeme, fraktionalisierte und topologische Phasen der Materie, theoretisch-experimentelle Sonden der Quantenmaterie, nicht-perturbative Methoden für stark gekoppelte Vielteilchensysteme, Anwendungen von Systemen kondensierter Quantenmaterie (z. B. Quantencomputer).

**Teilnahmevoraussetzungen** keine

**Literaturangabe** Hinweise zu Literaturangaben erfolgen in den Lehrveranstaltungen.

**Vergabe von Leistungspunkten** Leistungspunkte werden mit erfolgreichem Abschluss des Moduls vergeben. Näheres regelt die Prüfungsordnung.

### Prüfungsleistungen und -vorleistungen

<b>Modulprüfung: Projektarbeit: schriftliche Ausarbeitung (4 Wochen) und Präsentation (45 Min.), mit Wichtung: 1</b>	
	Praktikum "Practical Course: Quantum theory of condensed matter" (2SWS)

## Master of Science International Physics Studies Program (ab WS 2023/24)

Akademischer Grad	Modulnummer	Modulform
Master of Science	12-PHY-MWPCQM2	Wahlpflicht

<b>Modultitel</b>	<b>Physics of Driven and Open Quantum Systems</b>
<b>Modultitel (englisch)</b>	Physics of Driven and Open Quantum Systems
<b>Empfohlen für:</b>	1. Semester
<b>Verantwortlich</b>	Leitung der Abteilung Quantentheorie der kondensierten Materie
<b>Dauer</b>	1 Semester
<b>Modulturnus</b>	mindestens einmal alle 2 Jahre
<b>Lehrformen</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Vorlesung "Driven and Open Quantum Systems" (2 SWS) = 30 h Präsenzzeit und 45 h Selbststudium = 75 h</li> <li>• Übung "Driven and Open Quantum Systems" (2 SWS) = 30 h Präsenzzeit und 45 h Selbststudium = 75 h</li> </ul>
<b>Arbeitsaufwand</b>	5 LP = 150 Arbeitsstunden (Workload)
<b>Verwendbarkeit</b>	B.Sc. International Physics Studies Program (Honours) M.Sc. Physics M.Sc. International Physics Studies Program M.Sc. Mathematical Physics
<b>Ziele</b>	Die Studierenden lernen die Physik von Nicht-Gleichgewichts-Quantensystemen kennen, die von zeitabhängigen Störungen angetrieben werden und in Kontakt mit einer Umgebung stehen. Sie verstehen die Theorie der Relaxationsprozesse von Quantensystemen und die Prinzipien der Quantenkinetik.
<b>Inhalt</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Lineare Antworttheorie</li> <li>- Theorem der Schwankungsdissipation</li> <li>- Floquet-Systeme</li> <li>- Boltzmann-Gleichung und quantenkinetische Theorie</li> <li>- Theorie der Qubit-Relaxation und Dekohärenz</li> <li>- Eigenzustands-Thermalisierungshypothese</li> </ul>
<b>Teilnahmevoraussetzungen</b>	keine
<b>Literaturangabe</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Vasko, Fedir T., and Oleg E. Raichev. Quantum kinetic theory and applications: Electrons, photons, phonons. Springer Science &amp; Business Media, 2006.</li> <li>- Breuer, Heinz-Peter, and Francesco Petruccione. The theory of open quantum systems. Oxford University Press, USA, 2002.</li> <li>- Kubo, Ryogo, Morikazu Toda, and Natsuki Hashitsume. Statistical physics II: nonequilibrium statistical mechanics. Vol. 31. Springer Science &amp; Business Media, 2012.</li> <li>- Giuliani, Gabriele, and Giovanni Vignale. Quantum theory of the electron liquid. Cambridge University Press, 2008.</li> <li>- Slichter, Charles P. Principles of magnetic resonance. Vol. 1. Springer Science &amp; Business Media, 2013.</li> </ul>

**Vergabe von Leistungspunkten**

Leistungspunkte werden mit erfolgreichem Abschluss des Moduls vergeben.  
Näheres regelt die Prüfungsordnung.

**Prüfungsleistungen und -vorleistungen****Modulprüfung: Mündliche Prüfung 25 Min., mit Wichtung: 1**

*Prüfungsvorleistung: Wöchentlich ausgegebene Übungsaufgaben aus dem Bereich des Modulinhalts. Für die Lösung werden Punkte vergeben. Voraussetzung für die Zulassung ist der Erwerb von 50% der möglichen Punkte des gesamten Semesters.*

	Vorlesung "Driven and Open Quantum Systems" (2SWS)
	Übung "Driven and Open Quantum Systems" (2SWS)

## Master of Science International Physics Studies Program (ab WS 2023/24)

Akademischer Grad	Modulnummer	Modulform
Master of Science	12-PHY-MWPCQM3	Wahlpflicht

<b>Modultitel</b>	<b>Geometry and Topology in Quantum Matter</b>
<b>Modultitel (englisch)</b>	Geometry and Topology in Quantum Matter
<b>Empfohlen für:</b>	1. Semester
<b>Verantwortlich</b>	Leitung der Abteilung Quantentheorie der kondensierten Materie
<b>Dauer</b>	1 Semester
<b>Modulturnus</b>	mindestens einmal alle 2 Jahre
<b>Lehrformen</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Vorlesung "Geometry and Topology in Quantum Matter" (2 SWS) = 30 h Präsenzzeit und 45 h Selbststudium = 75 h</li> <li>• Übung "Geometry and Topology in Quantum Matter" (2 SWS) = 30 h Präsenzzeit und 45 h Selbststudium = 75 h</li> </ul>
<b>Arbeitsaufwand</b>	5 LP = 150 Arbeitsstunden (Workload)
<b>Verwendbarkeit</b>	B.Sc. International Physics Studies Program (Honours) M.Sc. Physics M.Sc. International Physics Studies Program M.Sc. Mathematical Physics
<b>Ziele</b>	Die Studierenden lernen geometrische und topologische Aspekte der Quantentheorie kennen, die auf Systeme der kondensierten Quantenmaterie angewendet werden. Sie sammeln Erfahrungen mit der Berechnung von Berry-Phasen und deren Verbindung zu Observablen und lernen die Topologie von Isolatoren, Metallen, Supraleitern und anderen Phasen der Quantenmaterie verstehen.
<b>Inhalt</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Geometrie von Quantenzuständen</li> <li>- Berry-Phasen und adiabatische Theoreme</li> <li>- Anomale Geschwindigkeit und Hall-Effekt</li> <li>- Die Chern-Zahl und Chern-Isolatoren</li> <li>- Zeitumkehrinvariante topologische Isolatoren</li> <li>- Altland-Zirnbauer-Symmetrieklassen und der zehnfache Weg</li> <li>- Topologische Halbmetalle</li> <li>- Topologische Supraleiter</li> </ul>
<b>Teilnahmevoraussetzungen</b>	keine
<b>Literaturangabe</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Moessner, Roderich, and Joel E. Moore. Topological phases of matter. Cambridge University Press, 2021.</li> <li>- Bernevig, B. Andrei. Topological insulators and topological superconductors. Princeton University Press, 2013.</li> <li>- Vanderbilt, David. Berry phases in electronic structure theory: electric polarization, orbital magnetization and topological insulators. Cambridge University Press, 2018.</li> </ul>

**Vergabe von Leistungspunkten**

Leistungspunkte werden mit erfolgreichem Abschluss des Moduls vergeben.  
Näheres regelt die Prüfungsordnung.

**Prüfungsleistungen und -vorleistungen**

**Modulprüfung: Mündliche Prüfung 25 Min., mit Wichtung: 1**

*Prüfungsvorleistung: Wöchentlich ausgegebene Übungsaufgaben aus dem Bereich des Modulinhalts. Für die Lösung werden Punkte vergeben. Voraussetzung für die Zulassung ist der Erwerb von 50% der möglichen Punkte des gesamten Semesters.*

	Vorlesung "Geometry and Topology in Quantum Matter" (2SWS)
	Übung "Geometry and Topology in Quantum Matter" (2SWS)

## Master of Science International Physics Studies Program (ab WS 2023/24)

Akademischer Grad	Modulnummer	Modulform
Master of Science	12-PHY-MWPE1	Wahlpflicht

<b>Modultitel</b>	<b>Advanced Solid State Physics</b>
<b>Modultitel (englisch)</b>	Advanced Solid State Physics
<b>Empfohlen für:</b>	1. Semester
<b>Verantwortlich</b>	Direktor:in des Felix-Bloch-Instituts für Festkörperphysik
<b>Dauer</b>	1 Semester
<b>Modulturnus</b>	mindestens jedes zweite Semester
<b>Lehrformen</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Vorlesung "Advanced Solid State Physics" (4 SWS) = 60 h Präsenzzeit und 60 h Selbststudium = 120 h</li> <li>• Seminar "Advanced Solid State Physics" (2 SWS) = 30 h Präsenzzeit und 60 h Selbststudium = 90 h</li> <li>• Übung "Advanced Solid State Physics" (1 SWS) = 15 h Präsenzzeit und 75 h Selbststudium = 90 h</li> </ul>
<b>Arbeitsaufwand</b>	10 LP = 300 Arbeitsstunden (Workload)
<b>Verwendbarkeit</b>	B.Sc. IPSP M.Sc. Physics M.Sc. Physik M.Sc. IPSP
<b>Ziele</b>	Nach aktiver Teilnahme am Modul kennen die Studierenden komplexe Phänomene der Festkörperphysik und wissen, wie diese auf mikroskopische, quantenmechanische und kollektive Mechanismen zurückzuführen sind. Sie sind in der Lage, sich fortgeschrittene Verfahren und Experimente auf dem Gebiet der Festkörperphysik zu erschließen. Die Studierenden können typische Rechenmethoden anwenden und diese auf fortgeschrittene Fragestellungen der fortgeschrittenen Festkörperphysik übertragen.
<b>Inhalt</b>	Es werden Spezialgebiete der Festkörperphysik behandelt, die auch an der Fakultät Gegenstand aktueller Forschung sind: <ul style="list-style-type: none"> <li>- Magnetismus</li> <li>- Supraleitung</li> <li>- Korrelierte Systeme</li> <li>- Systeme mit reduzierter Dimensionalität</li> <li>- Oberflächenphysik</li> <li>- Strukturanalyse komplexer Festkörper</li> <li>- Spektroskopie von Quantenfestkörpern</li> <li>- weiterführende Gebiete der Halbleiterphysik</li> </ul>
<b>Teilnahmevoraussetzungen</b>	keine
<b>Literaturangabe</b>	Ch. Kittel, Einführung in die Festkörperphysik/Introduction to Solid State Physics (Oldenbourg/Wiley) N.W. Ashcroft, D.N. Mermin, Festkörperphysik/Solid State Physics (Oldenbourg/Holt/Cengage Learning)

P. Philips, Advanced Solid State Physics (Cambridge University Press)

**Vergabe von Leistungspunkten**

Leistungspunkte werden mit erfolgreichem Abschluss des Moduls vergeben.  
Näheres regelt die Prüfungsordnung.

**Prüfungsleistungen und -vorleistungen**

<b>Modulprüfung: Klausur 180 Min., mit Wichtung: 1</b>	
<i>Prüfungsvorleistung: Übungsaufgaben</i>	
	Vorlesung "Advanced Solid State Physics" (4SWS)
	Seminar "Advanced Solid State Physics" (2SWS)
	Übung "Advanced Solid State Physics" (1SWS)

## Master of Science International Physics Studies Program (ab WS 2023/24)

Akademischer Grad	Modulnummer	Modulform
Master of Science	12-PHY-MWPEMSP	Wahlpflicht

### Modultitel Single-Molecule Spectroscopy

**Modultitel (englisch)** Single-Molecule Spectroscopy

**Empfohlen für:** 1. Semester

**Verantwortlich** Leitung der Abteilung Molekulare Biophysik

**Dauer** 1 Semester

**Modulturnus** jedes Wintersemester

**Lehrformen**

- Vorlesung "Single-Molecule Spectroscopy" (2 SWS) = 30 h Präsenzzeit und 45 h Selbststudium = 75 h
- Kleingruppenseminar "Single-Molecule Spectroscopy" (2 SWS) = 30 h Präsenzzeit und 45 h Selbststudium = 75 h

**Arbeitsaufwand** 5 LP = 150 Arbeitsstunden (Workload)

**Verwendbarkeit**

B.Sc. IPSP  
M.Sc. Physics  
M.Sc. Physik  
M.Sc. IPSP

**Ziele**

Die Studierenden erwerben Kenntnisse über grundsätzliche physikalische Techniken und Kenntnisse, die bei der Untersuchung und Charakterisierung von einzelnen biologischen und nichtbiologischen Molekülen als Bestandteile von weicher kondensierter Materie zum Einsatz kommen.

Die Studierenden bekommen einen detaillierten Einblick in dieses Themengebiet und werden befähigt, Einzelmolekülexperimente selbstständig zu konzipieren und mittels computergestützter Berechnungen zu analysieren. Die Studierenden vertiefen ihren Einblick in die Struktur und Dynamik weicher und biologischer Systeme.

**Inhalt**

Vorlesung:

Systeme der biologischen und der weichen Materie können ein komplexes Verhalten hinsichtlich ihrer Struktur und Dynamik aufweisen. Dieses ist in der Regel das Resultat einer kollektiven Wechselwirkung zwischen den einzelnen passiven oder aktiven Molekülen, aus welchen diese Systeme aufgebaut sind. Zum Verständnis, der makroskopischen Eigenschaften, ist es dabei unerlässlich die molekularen Eigenschaften der Systeme genauestens zu kennen. Ziel des Moduls ist es, mechanische und optische Einzelmolekülverfahren kennenzulernen, mit denen die Struktur und Dynamik von einzelnen Molekülen analysiert und in Echtzeit verfolgt werden kann. Dies erlaubt z.B. Einblick in Subpopulationen von Molekülen und Zuständen, die Untersuchung von aktiven, d.h. kraftgenerierenden Molekülen als auch Mikroskopie jenseits des Abbe'schen Beugungslimits. Spezielle Themen der Vorlesung sind:

- Struktur und Dynamik von Biomolekülen
- Methoden der Kraftspektroskopie (Pinzettentechniken, AFM)
- Theoretische Beschreibungen von kraftspektroskopischen Experimenten



- Fluoreszenzspektroskopie (Fluoreszenzlebensdauer, Fluoreszenzanisotropie)
- Multidimensionale Fluoreszenzspektroskopie
- Quantitative Auswertung von Fluoreszenzexperimenten mit Anwendungen zur Struktur von Makromolekülen
- Grundlagen der Signal- und Datenanalyse in Orts- und Frequenzraum, statistischen Analyse von Daten mit limitierter Statistik

Kleingruppenseminar (3 Teilnehmende pro Kleingruppe): Vertiefender Einblick in Einzelmolekülexperimente und molekulare Simulationen.

Vorbereitende Besprechungen zum Kennenlernen verschiedener Mess-/Simulationsprinzipien und Herangehensweisen, geführte Durchführung ausgewählter Messungen und Simulationen, Erarbeitung von verschiedenen Datenanalysemöglichkeiten, Kennenlernen von verschiedenen Datenauswerteprogrammen und Diskussion der Resultate.

Die Seminarleistung besteht aus 3 Antestaten (jeweils 15 Min.) und einer schriftlichen Ausarbeitung (Bearbeitungszeit: 4 Wochen) zu den durchgeführten Analysen im Kleingruppenseminar.

#### Teilnahmevoraussetzungen

keine.

Die Vorlesungen "Physik der weichen Materie" als auch "Active Matter Physics" sind eine gute Ergänzung zu diesem Kurs.

#### Literaturangabe

- Jonathan Howard: Mechanics of Motor proteins and the Cytoskeleton (Sinauer Associates)
- Rob Phillips, Jane Kondev, Julie Theriot: Physical Biology of the Cell (Garland Science)
- Joseph R. Lakowicz: Principles of Fluorescence Spectroscopy (Springer)

#### Vergabe von Leistungspunkten

Leistungspunkte werden mit erfolgreichem Abschluss des Moduls vergeben. Näheres regelt die Prüfungsordnung.

#### Prüfungsleistungen und -vorleistungen

Modulprüfung: Seminarleistung, mit Wichtung: 1	
	Vorlesung "Single-Molecule Spectroscopy" (2SWS)
	Kleingruppenseminar "Single-Molecule Spectroscopy" (2SWS)

## Master of Science International Physics Studies Program (ab WS 2023/24)

Akademischer Grad	Modulnummer	Modulform
Master of Science	12-PHY-MWPGFP	Wahlpflicht

<b>Modultitel</b>	<b>Physics of Nanoporous Materials</b>
<b>Modultitel (englisch)</b>	Physics of Nanoporous Materials
<b>Empfohlen für:</b>	1. Semester
<b>Verantwortlich</b>	Leiter:in der Abteilung Angewandte Magnetische Resonanz
<b>Dauer</b>	1 Semester
<b>Modulturnus</b>	mindestens einmal alle 2 Jahre
<b>Lehrformen</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Vorlesung "Physics of Nanoporous Materials" (2 SWS) = 30 h Präsenzzeit und 45 h Selbststudium = 75 h</li> <li>• Seminar "Physics of Nanoporous Materials" (1 SWS) = 15 h Präsenzzeit und 25 h Selbststudium = 40 h</li> <li>• Praktikum "Physics of Nanoporous Materials" (1 SWS) = 15 h Präsenzzeit und 20 h Selbststudium = 35 h</li> </ul>
<b>Arbeitsaufwand</b>	5 LP = 150 Arbeitsstunden (Workload)
<b>Verwendbarkeit</b>	B.Sc. IPSP M.Sc. Physics M.Sc. Physik M.Sc. IPSP
<b>Ziele</b>	Die Studierenden - erschließen sich die Grundlagen eines aktuellen interdisziplinären Forschungsgebietes der Nanotechnologie - eignen sich umfassende Kenntnisse über die Charakterisierung nanoporöser Materialien an - erlernen experimentelle und theoretische Methoden zur Beschreibung und Untersuchung von Phasengleichgewichten und Phasenübergängen und zu Transportprozesse von Porenhaltstoffen in einschränkenden Geometrien - vertiefen ihre Kenntnisse durch das Anwenden ausgewählter Methoden im Praktikum.
<b>Inhalt</b>	<p>Das Modul baut auf Kenntnissen der allgemeinen Molekül- und Festkörperphysik auf. Es werden phänomenologische Beschreibungen und Anwendungen natürlicher und synthetischer poröser Festkörper mittels makroskopischer und mikroskopischer Strukturparameter behandelt.</p> <p>Der geometrische Aufbau und die innere Struktur nanoporöser Materialien, Prinzipien zur Synthese von dispersen und porösen Festkörpern sowie moderne experimentelle Methoden und Theorien zur Untersuchung von Struktur, Adsorption und Diffusion in porösen Materialien werden erörtert und an Beispielen aus der aktuellen Forschung veranschaulicht. Diffusionsuntersuchungen beispielsweise mittels Interferenz und IR-Mikroskopie, PFG NMR sowie die energetische und die strukturelle Charakterisierung poröser Festkörper mittels Adsorptionstexturanalyse, Kalorimetrie und MAS NMR werden erläutert.</p> <p>In Seminar und Praktikum vertiefen die Studierenden ihre in den Vorlesungen</p>

erworbenen Kenntnisse.

**Teilnahmevoraussetzungen**

keine

**Literaturangabe**

Hinweise zu Literaturangaben erfolgen in den Lehrveranstaltungen.

**Vergabe von Leistungspunkten**

Leistungspunkte werden mit erfolgreichem Abschluss des Moduls vergeben.  
Näheres regelt die Prüfungsordnung.

**Prüfungsleistungen und -vorleistungen**

<b>Modulprüfung: Mündliche Prüfung 25 Min., mit Wichtung: 1</b>	
<i>Prüfungsvorleistung: Praktikumsleistung (1 Protokoll, Bearbeitungsdauer 3 Wochen )</i>	
	Vorlesung "Physics of Nanoporous Materials" (2SWS)
	Seminar "Physics of Nanoporous Materials" (1SWS)
	Praktikum "Physics of Nanoporous Materials" (1SWS)

## Master of Science International Physics Studies Program (ab WS 2023/24)

Akademischer Grad	Modulnummer	Modulform
Master of Science	12-PHY-MWPHLP3	Wahlpflicht

### Modultitel **Semiconductor Physics II: Semiconductor Devices II**

**Modultitel (englisch)** Semiconductor Physics II: Semiconductor Devices II

**Empfohlen für:** 1. Semester

**Verantwortlich** Leiter:in der Abteilung Halbleiterphysik

**Dauer** 1 Semester

**Modulturnus** jedes Sommersemester

**Lehrformen** • Vorlesung "Semiconductor Physics II: Semiconductor Devices II" (4 SWS) = 60 h Präsenzzeit und 90 h Selbststudium = 150 h

**Arbeitsaufwand** 5 LP = 150 Arbeitsstunden (Workload)

**Verwendbarkeit** B.Sc. IPSP  
M.Sc. Physics  
M.Sc. Physik  
M.Sc. IPSP

**Ziele** Die Studierenden:  
- erschließen sich, aufbauend auf einer soliden physikalischen Grundbildung, ein Forschungsgebiet der physikalischen Institute;  
- eignen sich die Funktionsweise, Eigenschaften, und Herstellung wichtiger Halbleiterbauelemente an, um auf diesem Wissen basierend selbst entsprechende Bauelemente weiterzuentwickeln oder neu konzipieren zu können.

**Inhalt** Es werden die physikalischen Grundlagen, Eigenschaften, Funktionalität und Herstellung der wichtigsten modernen Halbleiterbauelemente behandelt, u.a. Dioden, Transistoren, CMOS, Mikroelektronik, Photodetektoren, CCD's, Laserdioden, optische Kommunikationssysteme, Solarzellen.

**Teilnahmevoraussetzungen** keine

**Literaturangabe** M. Grundmann, The Physics of Semiconductors, Springer  
S. Sze, Physics of Semiconductor Devices, Wiley

**Vergabe von Leistungspunkten** Leistungspunkte werden mit erfolgreichem Abschluss des Moduls vergeben. Näheres regelt die Prüfungsordnung.

### Prüfungsleistungen und -vorleistungen

Modulprüfung: Mündliche Prüfung 45 Min., mit Wichtung: 1	
	Vorlesung "Semiconductor Physics II: Semiconductor Devices II" (4SWS)

## Master of Science International Physics Studies Program (ab WS 2023/24)

Akademischer Grad	Modulnummer	Modulform
Master of Science	12-PHY-MWPHLP5	Wahlpflicht

### Modultitel **Laboratory Work in Semiconductors II**

**Modultitel (englisch)** Laboratory Work in Semiconductors II

**Empfohlen für:** 1. Semester

**Verantwortlich** Leiter:in der Abteilung Halbleiterphysik

**Dauer** 1 Semester

**Modulturnus** jedes Sommersemester

**Lehrformen** • Praktikum "Laboratory Work in Semiconductors II" (2 SWS) = 30 h Präsenzzeit und 120 h Selbststudium = 150 h

**Arbeitsaufwand** 5 LP = 150 Arbeitsstunden (Workload)

**Verwendbarkeit** B.Sc. IPSP  
M.Sc. Physics  
M.Sc. Physik  
M.Sc. IPSP

**Ziele** Das Modul begleitet das Modul Halbleiterphysik II. Es werden Experimente zu Bauelementen in der Regel an modernen Apparaturen der Arbeitsgruppe Halbleiterphysik durchgeführt, die auch im täglichen Einsatz in aktuellen Forschungsprojekten verwendet werden.

Die Studierenden

- erwerben Kenntnisse über grundlegende Herstellungs-, Prozessierungs- und Charakterisierungsmethoden für moderne Halbleiterbauelemente;
- können elektronische und optische Bauelementeigenschaften selbständig bewerten;
- lernen, sich in Halbleiter-technologische Aufgabenstellungen einzuarbeiten, diese kreativ umzusetzen und die gewonnenen Resultate zu präsentieren und zu verteidigen.

**Inhalt** Die Studierenden führen pro Semester 8 vorgegebene Versuche nach vorgegebenem Zeitplan durch.

Das Praktikum HLP II umfasst die vollständige Herstellung eines oxidischen Feldeffekt-Transistors in mehreren Prozessierungs-Schritten sowie die Untersuchung von verschiedenen anderen Halbleiter-Bauelementen, wie Dioden, Leuchtdioden, Photodetektoren, Solarzellen und Laserdioden. Die Vorbereitung auf die Versuche erfolgt in Eigenarbeit an Hand der ausführlichen Skripte. Die Versuche werden unter Anleitung eines Betreuers durchgeführt. Die Versuchsauswertung erfolgt durch ein vorzulegendes Protokoll mit mündlichem Testat oder einem Kurzvortrag, die jeweils benotet werden.

**Teilnahmevoraussetzungen** keine

**Literaturangabe** - M. Grundmann: The Physics of Semiconductors, An Introduction including Devices and Nanophysics Springer, Heidelberg, 2006; Revised and extended 2nd

edition 2009.

**Vergabe von Leistungspunkten**

Leistungspunkte werden mit erfolgreichem Abschluss des Moduls vergeben.  
Näheres regelt die Prüfungsordnung.

**Prüfungsleistungen und -vorleistungen**

<b>Modulprüfung: Praktikumsleistung (8 Versuche, 4 Protokolle (Bearbeitungsdauer 4 Wochen), 8 Abtestate), mit Wichtung: 1</b>	
	Praktikum "Laboratory Work in Semiconductors II" (2SWS)

## Master of Science International Physics Studies Program (ab WS 2023/24)

Akademischer Grad	Modulnummer	Modulform
Master of Science	12-PHY-MWPHLP6	Wahlpflicht

<b>Modultitel</b>	<b>Semiconductor Physics III: Semiconductor Optics</b>
<b>Modultitel (englisch)</b>	Semiconductor Physics III: Semiconductor Optics
<b>Empfohlen für:</b>	1. Semester
<b>Verantwortlich</b>	Leiter:in der Abteilung Halbleiterphysik
<b>Dauer</b>	2 Semester
<b>Modulturnus</b>	jedes Wintersemester
<b>Lehrformen</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Vorlesung mit integrierter Übung "Semiconductor Optics 1 - Fundamentals and Experimental Methods" (2 SWS) = 30 h Präsenzzeit und 45 h Selbststudium = 75 h</li> <li>• Vorlesung mit integrierter Übung "Semiconductor Optics 2 - Photonic Systems and Devices" (2 SWS) = 30 h Präsenzzeit und 45 h Selbststudium = 75 h</li> </ul>
<b>Arbeitsaufwand</b>	5 LP = 150 Arbeitsstunden (Workload)
<b>Verwendbarkeit</b>	B.Sc. IPSP M.Sc. Physics M.Sc. Physik M.Sc. IPSP
<b>Ziele</b>	Die Studierenden <ul style="list-style-type: none"> <li>- erwerben grundlegende Kenntnisse im Bereich der Kristall- und Halbleiteroptik sowie zu ausgewählten Aspekten der Physik der Licht-Materie-Wechselwirkung in modernen halbleiterbasierten photonischen Systemen</li> <li>- erlangen bzw. vertiefen Kenntnisse über spezielle experimentelle Methoden der Optik</li> <li>- lernen, aktuelle themenbezogene Veröffentlichungen kritisch zu bewerten bzw. nachzuvollziehen und in den historischen Kontext zu stellen.</li> </ul>
<b>Inhalt</b>	Folgende Themen werden behandelt: <ul style="list-style-type: none"> <li>- Kristall- und Polarisationsoptik (Grundlagen und ihre praktische Anwendung)</li> <li>- Photonen in beschränkten photonischen Systemen (Resonatoren)</li> <li>- Elementaranregungen in 3D-periodischen Strukturen</li> <li>- schwache und starke Licht-Materie-Wechselwirkung</li> <li>- experimentelle optische Methoden (z.B. Raman-Streuung, IR-Spektroskopie, Ellipsometrie, Transmission- und Absorptionspektroskopie)</li> <li>- opto-elektronische Bauelemente (z.B. Photodioden inkl. Solarzelle, LED, Laser etc.).</li> </ul>
<b>Teilnahmevoraussetzungen</b>	keine
<b>Literaturangabe</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- C.F.Klingshirn: Semiconductor Optics; Springer, Berlin, 2007.</li> <li>- P.Y.Yu and M.Cardona: Fundamentals of Semiconductors; Springer, Berlin, 1996.</li> <li>- M. Born and E.Wolf: Principles of Optics; Cambridge University Press, Cambridge, 1999.</li> <li>- M. Grundmann: The Physics of Semiconductors, An Introduction including Devices and Nanophysics Springer, Heidelberg, 2016 (3rd edition).</li> </ul>

**Vergabe von Leistungspunkten**

Leistungspunkte werden mit erfolgreichem Abschluss des Moduls vergeben.  
Näheres regelt die Prüfungsordnung.

**Prüfungsleistungen und -vorleistungen**

Modulprüfung: Hausarbeit (4 Wochen), mit Wichtung: 1	
	Vorlesung mit integrierter Übung "Semiconductor Optics 1 - Fundamentals and Experimental Methods" (2SWS)
	Vorlesung mit integrierter Übung "Semiconductor Optics 2 - Photonic Systems and Devices" (2SWS)



## Master of Science International Physics Studies Program (ab WS 2023/24)

Akademischer Grad	Modulnummer	Modulform
Master of Science	12-PHY-MWPIOM6	Wahlpflicht

### Modultitel **Magnetism**

**Modultitel (englisch)** Magnetism

**Empfohlen für:** 1. Semester

**Verantwortlich** Leiter:in der Abteilung Angewandte Physik

**Dauer** 1 Semester

**Modulturnus** mindestens einmal alle 2 Jahre

**Lehrformen**

- Vorlesung "Magnetism" (2 SWS) = 30 h Präsenzzeit und 45 h Selbststudium = 75 h
- Seminar "Magnetism and Micromagnetic Modeling" (2 SWS) = 30 h Präsenzzeit und 45 h Selbststudium = 75 h

**Arbeitsaufwand** 5 LP = 150 Arbeitsstunden (Workload)

**Verwendbarkeit**

B.Sc. IPSP  
M.Sc. Physics  
M.Sc. Physik  
M.Sc. IPSP

**Ziele**

Die Studierenden sind nach der aktiven Teilnahme am Modul in der Lage, die Physik des Magnetismus basierend auf den Konzepten der Atom- und Festkörperphysik qualitativ und quantitativ zu verstehen. Sie lernen ferner moderne Anwendungen und aktuelle Herausforderungen im Bereich des Magnetismus von den physikalischen Grundlagen her kennen. Dabei werden sie auch in moderne Verfahren, wie der mikromagnetischen Modellierung, eingeführt. Nach aktiver Teilnahme sind sie in der Lage, eigenständig in den genannten Bereichen zu arbeiten.

**Inhalt**

Vorlesung:

- Grundlagen: Definitionen, Magnetismus freier Atome
- Heisenberg-Spin-Hamiltonoperator, Austauschwechselwirkung, Molekularfeldnäherung
- Bandmagnetismus, Stoner-Modell
- Magnetismus an Oberflächen und Grenzflächen
- Dimensionseffekte
- Quantentopfzustände, Zwischenschicht-Austauschkopplung
- Spinabhängiger Transport, GMR, TMR, Spin-Valves, CMR
- Magnetische Speicher
- Exchange spring magnets, ferromagnetische Formgedächtnislegierungen

Seminar:

Begleitend zur Vorlesung werden Vorträge zu speziellen Themen aus dem Bereich des Mikromagnetismus (mit starkem Fokus auf magnetischen Domänen) und dessen Modellierung von den Modulteilnehmern gehalten.

**Teilnahmevoraussetzungen** keine

**Literaturangabe** D.C. Jiles: Introduction to Magnetism and Magnetic Materials (Chapman & Hall, 1990)  
S. Chikazumi, S. Charap: Physics of Magnetism (Krieger, 1978)  
D. Craik: Magnetism: Principles and Applications (Wiley, 1995)  
O'Handley: Modern Magnetic Materials: Principles and Applications (Wiley, 1999)  
W. Nolting: Quantentheorie des Magnetismus 1 und 2 (Teubner, 1986)  
A. Hubert, R. Schäfer, Magnetic Domains (Springer, 1998)  
A. Aharoni: Introduction to the Theory of Ferromagnetism (Claredon Press, 1996)

**Vergabe von Leistungspunkten** Leistungspunkte werden mit erfolgreichem Abschluss der Module vergeben.  
Näheres regelt die Prüfungsordnung

### **Prüfungsleistungen und -vorleistungen**

Modulprüfung: Klausur 90 Min., mit Wichtung: 1	
	Vorlesung "Magnetism" (2SWS)
	Seminar "Magnetism and Micromagnetic Modeling" (2SWS)

## Master of Science International Physics Studies Program (ab WS 2023/24)

Akademischer Grad	Modulnummer	Modulform
Master of Science	12-PHY-MWPKP1	Wahlpflicht

<b>Modultitel</b>	<b>Nuclear Physics</b>
<b>Modultitel (englisch)</b>	Nuclear Physics
<b>Empfohlen für:</b>	1. Semester
<b>Verantwortlich</b>	Leiter:in der Abteilung Struktur und Eigenschaften komplexer Festkörper
<b>Dauer</b>	1 Semester
<b>Modulturnus</b>	jedes Wintersemester
<b>Lehrformen</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Vorlesung "Nuclear Physics" (2 SWS) = 30 h Präsenzzeit und 45 h Selbststudium = 75 h</li> <li>• Seminar "Nuclear Physics" (1 SWS) = 15 h Präsenzzeit und 60 h Selbststudium = 75 h</li> </ul>
<b>Arbeitsaufwand</b>	5 LP = 150 Arbeitsstunden (Workload)
<b>Verwendbarkeit</b>	B.Sc. IPSP M.Sc. Physics M.Sc. Physik M.Sc. IPSP
<b>Ziele</b>	Die Studierenden erwerben vertiefte Kenntnisse über die grundlegenden Eigenschaften von Atomkernen und lernen verschiedene Modelle zu deren Beschreibung kennen. Sie werden befähigt, die Leistungen und Grenzen dieser Modelle zu analysieren und zu bewerten. Sie können einen experimentellen Aspekt der Kernphysik (Detektor, Beschleuniger, ...) in einem Kurzvortrag präsentieren und sich das dafür notwendige Wissen selbständig aneignen sowie die Inhalte auswählen und in den Vorlesungsstoff einordnen. Sie diskutieren Vor- und Nachteile von kernphysikalischen Anwendungen (Kernreaktoren, medizinische Anwendungen).
<b>Inhalt</b>	Beschleuniger, Wechselwirkung von Teilchen mit Materie, Detektoren. Masse, Bindungsenergie, Radius, Ladungsdichteverteilung, Spin, Kernmomente, Parität. Tröpfchenmodell, Weizsäcker-Formel, Fermi-Gas-Modell, Schalenmodell, Rotations- und Vibrationsmodell. Radioaktivität, Zerfallsgesetz, Zerfallsarten. Kernspaltung, Kernfusion, medizinische Anwendungen.
<b>Teilnahmevoraussetzungen</b>	keine
<b>Literaturangabe</b>	Bethge/Walter/Wiedemann, Kernphysik, Springer Mayer-Kuckuk, Kernphysik, Teubner Musiol/Ranft/Reif/Seeliger, Kern- und Elementarteilchenphysik, VCH Krane, Introductory nuclear physics, Wiley Hodgson, Gadioli, Gadioli-Erba, Introductory nuclear physics, Clarendon Press
<b>Vergabe von Leistungspunkten</b>	Leistungspunkte werden mit erfolgreichem Abschluss des Moduls vergeben. Näheres regelt die Prüfungsordnung.

**Prüfungsleistungen und -vorleistungen****Modulprüfung: Klausur 90 Min., mit Wichtung: 1***Prüfungsvorleistung: Seminarvortrag (15 min) zu einem experimentellen Aspekt der Kernphysik (Detektoren, Beschleuniger, Anwendungen) mit anschließender Diskussion und Bereitstellung der Vortragsfolien*

	Vorlesung "Nuclear Physics" (2SWS)
	Seminar "Nuclear Physics" (1SWS)

## Master of Science International Physics Studies Program (ab WS 2023/24)

Akademischer Grad	Modulnummer	Modulform
Master of Science	12-PHY-MWPM1	Wahlpflicht

### Modultitel Cellular Biophysics 1

**Modultitel (englisch)** Cellular Biophysics 1

**Empfohlen für:** 1. Semester

**Verantwortlich** Leiter:in der Abteilung Biologische Physik

**Dauer** 1 Semester

**Modulturnus** jedes Wintersemester

**Lehrformen**

- Vorlesung "Cellular Biophysics 1" (2 SWS) = 30 h Präsenzzeit und 45 h Selbststudium = 75 h
- Seminar "Cellular Biophysics 1" (2 SWS) = 30 h Präsenzzeit und 45 h Selbststudium = 75 h

**Arbeitsaufwand** 5 LP = 150 Arbeitsstunden (Workload)

**Verwendbarkeit**

B.Sc. IPSP  
M.Sc. Physics  
M.Sc. Physik  
M.Sc. IPSP

**Ziele**

Die Studierenden

- erschließen sich, aufbauend auf einer soliden physikalischen Grundausbildung, ein Forschungsgebiet der physikalischen Institute;
- gewinnen grundlegende Kenntnisse über physikalische Eigenschaften der Zellen und physikalische Prozesse bei fundamentalen biologischen Vorgängen
- erschließen sich aktuelle Entwicklungen auf dem Gebiet der zellulären Biophysik.

**Inhalt**

Das Modul baut auf der Ausbildung in Experimenteller und Theoretischer Physik im Bachelorstudium auf.

1. Vorlesung "Cellular Biophysics"

Es werden grundlegende physikalische Eigenschaften der für biologische Zellen wichtigen funktionellen Module behandelt.

Stichpunktartiger Inhalt der Vorlesung:

- Aufbau der Zelle
- Zellbestandteile: Zellmembran, Zellorganellen, Zellskelett
- Zellteilung und Zellzyklus
- Transkription (DNA) und Translation (Proteine): Organisation des Genoms
- Zelloberflächenrezeptoren: Zell-Matrix und Zell-Zell Adhäsion
- Makromoleküle der extrazellulären Matrix
- Mikromechanik der Zelle
- Endothelzellmechanik

2. Seminar "Cellular Biophysics"

Aktuelle grundlegende Arbeiten aus dem Bereich der zellulären Biophysik werden in Einzelreferaten und anhand von Aufgaben erarbeitet.

Hinweis zur Prüfung: Die Zusammensetzung des Portfolios wird von den Lehrenden zu Beginn des Moduls bekanntgegeben. Beispiele für Leistungen im Portfolio sind: Präsentationen, Referate, Diskussionsbeiträge und schriftliche Tests. Die Bearbeitungszeit für die Zusammenstellung des Portfolios nach Erbringung aller Leistungen beträgt vier Wochen.

**Teilnahmevoraussetzungen**

keine

**Literaturangabe**

Claudia Tanja Mierke, Cellular Mechanics and Biophysics, Structure and Function of Basic Cellular Components Regulating Cell Mechanics, eBook ISBN: 978-3-030-58532-7  
Erich Sackmann und Rudolf Merkel, Lehrbuch der Biophysik, Wiley-VCH, ISBN 978-3-527-40535-0

**Vergabe von Leistungspunkten**

Leistungspunkte werden mit erfolgreichem Abschluss des Moduls vergeben. Näheres regelt die Prüfungsordnung.

**Prüfungsleistungen und -vorleistungen**

Modulprüfung: Portfolio, mit Wichtung: 1	
	Vorlesung "Cellular Biophysics 1" (2SWS)
	Seminar "Cellular Biophysics 1" (2SWS)

## Master of Science International Physics Studies Program (ab WS 2023/24)

Akademischer Grad	Modulnummer	Modulform
Master of Science	12-PHY-MWPM3	Wahlpflicht

### Modultitel Cellular Biophysics 2

**Modultitel (englisch)** Cellular Biophysics 2

**Empfohlen für:** 1. Semester

**Verantwortlich** Leiter:in der Abteilung Biologische Physik

**Dauer** 1 Semester

**Modulturnus** jedes Sommersemester

**Lehrformen**

- Vorlesung "Cellular Biophysics 2" (2 SWS) = 30 h Präsenzzeit und 45 h Selbststudium = 75 h
- Seminar "Cellular Biophysics 2" (2 SWS) = 30 h Präsenzzeit und 45 h Selbststudium = 75 h

**Arbeitsaufwand** 5 LP = 150 Arbeitsstunden (Workload)

**Verwendbarkeit**

B.Sc. IPSP  
M.Sc. Physics  
M.Sc. Physik  
M.Sc. IPSP

**Ziele**

Die Studierenden

- erschließen sich, aufbauend auf einer soliden physikalischen Grundausbildung, ein Forschungsgebiet der physikalischen Institute;
- gewinnen grundlegende Kenntnisse über Methoden zur Messung physikalischer Eigenschaften der Zellen, physikalische Messverfahren zur Charakterisierung biologischer Proben und physikalischer Eigenschaften wichtiger Molekülklassen,
- erschließen sich aktuelle Entwicklungen auf dem Gebiet der Biophysik und der physikalischen Krankheitserforschung.

**Inhalt**

Das Modul baut auf der Ausbildung in Experimenteller und Theoretischer Physik im Bachelorstudiengang Physik bzw. "International Physics Studies Program" auf.

1. Vorlesung:  
Es werden die grundlegenden physikalischen Messverfahren zur Untersuchung biologischer Proben wie optische Mikroskopie, Spektroskopie und Streuverfahren erarbeitet.

2. Seminar: Aktuelle grundlegende Arbeiten aus dem Bereich der Biophysikalischen Methoden werden durch die Teilnehmer in Einzelreferaten und anhand von Aufgaben erarbeitet.

Hinweis zur Prüfung: Die Zusammensetzung des Portfolios wird von den Lehrenden zu Beginn des Moduls bekanntgegeben. Beispiele für Leistungen im Portfolio sind: Präsentationen, Referate, Diskussionsbeiträge und schriftliche Tests. Die Bearbeitungszeit für die Zusammenstellung des Portfolios nach Erbringung aller Leistungen beträgt vier Wochen.

**Teilnahmevoraussetzungen** keine

**Literaturangabe** Patrick F. Dillon, Biophysics, A Physiological Approach, Cambridge University Press, ISBN 978-0-521-17216-5  
Erich Sackmann und Rudolf Merkel, Lehrbuch der Biophysik, Wiley-VCH, ISBN 978-3-527-40535-0

**Vergabe von Leistungspunkten** Leistungspunkte werden mit erfolgreichem Abschluss des Moduls vergeben.  
Näheres regelt die Prüfungsordnung.

### Prüfungsleistungen und -vorleistungen

Modulprüfung: Portfolio, mit Wichtung: 1	
	Vorlesung "Cellular Biophysics 2" (2SWS)
	Seminar "Cellular Biophysics 2" (2SWS)



## Master of Science International Physics Studies Program (ab WS 2023/24)

Akademischer Grad	Modulnummer	Modulform
Master of Science	12-PHY-MWPMED2	Wahlpflicht

<b>Modultitel</b>	<b>Introduction to Medical Physics 2</b>
<b>Modultitel (englisch)</b>	Introduction to Medical Physics 2
<b>Empfohlen für:</b>	1. Semester
<b>Verantwortlich</b>	Leitung der Abteilung Biotechnologie und Biomedizin
<b>Dauer</b>	1 Semester
<b>Modulturnus</b>	jedes Wintersemester
<b>Lehrformen</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Vorlesung "Introduction to Medical Physics 2" (2 SWS) = 30 h Präsenzzeit und 45 h Selbststudium = 75 h</li> <li>• Seminar "Introduction to Medical Physics 2" (2 SWS) = 30 h Präsenzzeit und 45 h Selbststudium = 75 h</li> </ul>
<b>Arbeitsaufwand</b>	5 LP = 150 Arbeitsstunden (Workload)
<b>Verwendbarkeit</b>	B.Sc. International Physics Studies Program (Honours) M.Sc. International Physics Studies Program M.Sc. Physics
<b>Ziele</b>	Nach erfolgreicher Teilnahme sind die Studierenden in der Lage physikalische Modelle von biologischen und medizinischen Phänomenen zu verstehen und einzuordnen. Die Studierenden erwerben Kenntnisse auf dem Gebiet der physikalischen Grundlagen des Lebens, die Funktionsweise des Körpers und deren medizinischen Relevanz. Sie werden befähigt physikalische Prozesse des Körpers zu verstehen, zu diskutieren und zu bewerten. Durch die Auseinandersetzung mit grundlegender und aktueller Forschungsliteratur entwickeln sie die Fähigkeit, die erworbenen Kenntnisse zur Funktion von Organen und des Körpers, von Längenskalen einer Zelle bis ganzer Organsysteme, zu verstehen und auf medizinische Fragestellungen anzuwenden.
<b>Inhalt</b>	Biomechanik der Körperstrukturen und Gleichgewichtssinn; Skalengesetze des Körpers; Physik der Lunge und Atmung; Physik des Herzens; Feedback und Kontrollmechanismen zum Erhalt der Körpertemperatur und Blutdruck inkl. Einfluss von Energie, Wärme, Arbeit des Körpers; elektrische und magnetische Eigenschaften; Physik des Nervensystems; Schmecken und Riechen
<b>Teilnahmevoraussetzungen</b>	Teilnahme am Modul 12-PHY-BMW MED1
<b>Literaturangabe</b>	Hinweise zu Literaturangaben erfolgen in den Lehrveranstaltungen.
<b>Vergabe von Leistungspunkten</b>	Leistungspunkte werden mit erfolgreichem Abschluss des Moduls vergeben. Näheres regelt die Prüfungsordnung.

**Prüfungsleistungen und -vorleistungen**

<b>Modulprüfung: Mündliche Prüfung 20 Min., mit Wichtung: 1</b>	
<i>Prüfungsvorleistung: Referat (20 Min.)</i>	
	Vorlesung "Introduction to Medical Physics 2" (2SWS)
	Seminar "Introduction to Medical Physics 2" (2SWS)

## Master of Science International Physics Studies Program (ab WS 2023/24)

Akademischer Grad	Modulnummer	Modulform
Master of Science	12-PHY-MWPMMP1	Wahlpflicht

### Modultitel **Black Holes**

**Modultitel (englisch)** Black Holes

**Empfohlen für:** 1. Semester

**Verantwortlich** Leiter:in der Abteilung Mathematische Physik

**Dauer** 1 Semester

**Modulturnus** jedes Sommersemester

**Lehrformen**

- Vorlesung "Black Holes" (4 SWS) = 60 h Präsenzzeit und 80 h Selbststudium = 140 h
- Übung "Black Holes" (2 SWS) = 30 h Präsenzzeit und 130 h Selbststudium = 160 h

**Arbeitsaufwand** 10 LP = 300 Arbeitsstunden (Workload)

**Verwendbarkeit**

B.Sc. IPSP (Honours)  
M.Sc. IPSP  
M.Sc. Physics  
M.Sc. Mathematical Physics

**Ziele**

Nach einer aktiven Teilnahme am Modul können die Studierenden:

- die wesentlichen Eigenschaften von Schwarzen Löchern in der Allgemeinen Relativitätstheorie erklären und begründen,
- geometrische und analytische Eigenschaften der Lösungen der Einstein-Gleichungen herleiten,
- relevante Modellprobleme selbständig bearbeiten, lösen und ihr Vorgehen begründen.

**Inhalt**

- Geometrische Eigenschaften wichtiger spezieller Schwarzes-Loch-Lösungen der Einstein-Gleichungen, einschließlich der Schwarzschild-, Reissner-Nordström- und Kerr-Lösungen;
- Grundlagen der Kausalitätstheorie und Lorentzschen Geometrie und Penrose-Diagramme;
- Das Anfangswertproblem in der allgemeinen Relativitätstheorie;
- Asymptotische Flachheit und Erhaltungsgrößen;
- Unvollständigkeitstheoreme von Penrose und Hawking;
- Die Vermutungen zur kosmischen Zensur;
- Die Gesetze der Mechanik von Schwarzen Löchern;
- Dynamische Eigenschaften von Schwarzen Löchern.

**Teilnahmevoraussetzungen** keine

**Literaturangabe**

- S. W. Hawking and G.F.R. Ellis, The large scale structure of space-time, Cambridge University Press, 1973;
- R.M. Wald: General Relativity, University of Chicago Press, 1984

**Vergabe von Leistungspunkten**

Leistungspunkte werden mit erfolgreichem Abschluss des Moduls vergeben. Näheres regelt die Prüfungsordnung.

**Prüfungsleistungen und -vorleistungen**

**Modulprüfung: Klausur 120 Min., mit Wichtung: 1**

*Prüfungsvorleistung: Wöchentlich ausgegebene Übungsaufgaben zu Fragen aus dem Bereich des Modulinhalts. Für die Lösung werden Punkte vergeben. Voraussetzung für die Zulassung zur Klausur ist der Erwerb von 50% der möglichen Punkte des gesamten Semesters.*

Vorlesung "Black Holes" (4SWS)

Übung "Black Holes" (2SWS)

## Master of Science International Physics Studies Program (ab WS 2023/24)

Akademischer Grad	Modulnummer	Modulform
Master of Science	12-PHY-MWPMON3	Wahlpflicht

### Modultitel **Active Matter Physics**

**Modultitel (englisch)** Active Matter Physics

**Empfohlen für:** 1. Semester

**Verantwortlich** Leiter:in der Abteilung Molekulare Nanophotonik

**Dauer** 1 Semester

**Modulturnus** jedes Sommersemester

**Lehrformen**

- Vorlesung "Active Matter Physics" (2 SWS) = 30 h Präsenzzeit und 45 h Selbststudium = 75 h
- Seminar "Active Matter Physics" (2 SWS) = 30 h Präsenzzeit und 45 h Selbststudium = 75 h

**Arbeitsaufwand** 5 LP = 150 Arbeitsstunden (Workload)

**Verwendbarkeit**

B.Sc. IPSP  
M.Sc. Physics  
M.Sc. Physik  
M.Sc. IPSP

**Ziele**

Die Studierenden lernen die vielfältigen Phänomene aktiver Materie und die zugrundeliegenden Konzepte anhand von Beispielen aus biologischen und nichtbiologischen Systemen kennen. Sie erwerben theoretische Fertigkeiten zur Beschreibung aktiver Materie, als auch Verfahren zur Herstellung, Analyse und Kontrolle aktiver Materie im Experiment. Die Studierenden können aktuelle Forschungsergebnisse kritisch diskutieren und kleine Projekte selbständig bearbeiten.

**Inhalt**

Aktive Materie besteht aus Einheiten, die Energie in Bewegung umsetzen und dadurch zahlreiche fundamentale Symmetrien nichtbelebter Materie (z. B. Reziprozität von Wechselwirkungen, Energieerhaltung, usw.) verletzen. Inhalte des Moduls sind unter anderem:

- physikalische Beschreibung aktiver Materie, mikroskopisch und feldtheoretisch als Vielteilchensysteme und phänomenologisch, thermo- bzw. hydrodynamisch, über ihre Symmetrien und Symmetriebrechungen
- ein Überblick über aktive biologische Materialien, wie molekulare Motoren, Cilien, Flagellen, Bakterien, etc., und damit verbundene Phänomene und z.B. Möglichkeiten zur Kontrolle
- ein Überblick über synthetische aktive Materialien, Antriebsmechanismen (z. B. phoretische), ihre Herstellung, Analyse und Kontrolle
- aktive Materie in externen Feldern (z. B. Chemotaxis, Gravitaxis, ...)
- kollektives Verhalten aktiver Materie (z. B. Schwärme)

**Teilnahmevoraussetzungen** keine

**Literaturangabe** [1] M. C. Marchetti, J. F. Joanny, S. Ramaswamy, T. B. Liverpool, J. Prost, M. Rao, and R. A. Simha, "Hydrodynamics of soft active matter", Reviews Modern Physics

85, 1143 (2013).

[2] S. Ramaswamy, "The mechanics and statistics of active matter", Annual Reviews Condensed Matter Physics 1, 323 (2010).

[3] C. Bechinger, R. Di Leonardo, H. Löwen, C. Reichhardt, G. Volpe, and G. Volpe, "Active particles in complex and crowded environments", Reviews Modern Physics 88, 045006 (2016).

[4] F. Cichos, K. Gustavsson, B. Mehlig, and G. Volpe, "Machine learning for active matter", Nature Machine Intelligence 2, 94 (2020).

[5] G. Baffou, F. Cichos, and R. Quidant, "Applications and challenges of thermoplasmonics", Nature Materials (2020).

[6] M. R. Shaebani, A. Wysocki, R. G. Winkler, G. Gompper, and H. Rieger, "Computational models for active matter", Nature Reviews Physics 2, 181 (2020).

[7] G. Volpe, F. Cichos, and C. Bechinger, "Taking control of active matter", (2020).  
zzgl. Literatur aus dem Seminar

#### Vergabe von Leistungspunkten

Leistungspunkte werden mit erfolgreichem Abschluss des Moduls vergeben.  
Näheres regelt die Prüfungsordnung.

#### Prüfungsleistungen und -vorleistungen

Modulprüfung: Mündliche Prüfung 30 Min., mit Wichtung: 1	
	Vorlesung "Active Matter Physics" (2SWS)
	Seminar "Active Matter Physics" (2SWS)

## Master of Science International Physics Studies Program (ab WS 2023/24)

Akademischer Grad	Modulnummer	Modulform
Master of Science	12-PHY-MWPMQ3	Wahlpflicht

### Modultitel **Nuclear Magnetic Resonance Laboratory**

**Modultitel (englisch)** Nuclear Magnetic Resonance Laboratory

**Empfohlen für:** 1. Semester

**Verantwortlich** Leiter:in der Abteilung Magnetische Resonanz komplexer Quantenfestkörper

**Dauer** 1 Semester

**Modulturnus** jedes Semester

**Lehrformen** • Praktikum "Nuclear Magnetic Resonance Laboratory" (7 SWS) = 105 h Präsenzzeit und 45 h Selbststudium = 150 h

**Arbeitsaufwand** 5 LP = 150 Arbeitsstunden (Workload)

**Verwendbarkeit** B.Sc. IPSP  
M.Sc. Physics  
M.Sc. Physik  
M.Sc. IPSP

**Ziele** Die Studierenden erlernen die selbstständige Durchführung von Spinresonanzexperimenten Sie

- erschließen sich, aufbauend auf einer soliden physikalischen Grundausbildung, eine moderne Untersuchungsmethode der physikalischen Institute;
- sind mit den theoretischen Grundkonzepten der Kernspinresonanz (NMR)-Spektroskopie vertraut und eignen sich praktische Kenntnisse der Anwendung der NMR-Spektroskopie im Bereich der Festkörperphysik und Materialwissenschaften an;
- vertiefen ihre praktischen Kenntnisse durch Anwendung ausgewählter NMR-Methoden und dem Auf- bzw. Ausbau eines NMR-Spektrometers

**Inhalt**

- Grundlagen der Hochfrequenz-Messtechnik und Signalverarbeitung in der NMR Spektroskopie
- statische und MAS NMR Verfahren
- Echo-Methoden
- Doppelresonanz-Experimente
- Anwendung der erlernten Kenntnisse beim Aufbau eines Lehrspektrometers

**Teilnahmevoraussetzungen** Teilnahme an den Modulen 12-PHY-BW3MQ1 und 12-PHY-MWPMQ2 bzw. 12-PHY-MWPAMR1 oder vergleichbare Kenntnisse

**Literaturangabe**

- Slichter: Principles of Magnetic Resonance (Springer)
- Levitt: Spin Dynamics (Wiley)

**Vergabe von Leistungspunkten** Leistungspunkte werden mit erfolgreichem Abschluss des Moduls vergeben. Näheres regelt die Prüfungsordnung.

**Prüfungsleistungen und -vorleistungen**

<b>Modulprüfung: Schriftliche Ausarbeitung (Bearbeitungszeit 4 Wochen), mit Wichtung: 1</b>	
	Praktikum "Nuclear Magnetic Resonance Laboratory" (7SWS)



## Master of Science International Physics Studies Program (ab WS 2023/24)

Akademischer Grad	Modulnummer	Modulform
Master of Science	12-PHY-MWPMQ4	Wahlpflicht

### Modultitel **Electronic Spin Resonance Laboratory**

**Modultitel (englisch)** Electronic Spin Resonance Laboratory

**Empfohlen für:** 1. Semester

**Verantwortlich** Leiter:in der Abteilung Magnetische Resonanz komplexer Quantenfestkörper

**Dauer** 1 Semester

**Modulturnus** jedes Semester

**Lehrformen** • Praktikum "Electronic Spin Resonance Laboratory" (7 SWS) = 105 h Präsenzzeit und 45 h Selbststudium = 150 h

**Arbeitsaufwand** 5 LP = 150 Arbeitsstunden (Workload)

**Verwendbarkeit** B.Sc. IPSP  
M.Sc. Physics  
M.Sc. Physik  
M.Sc. IPSP

**Ziele** Die Studierenden erhalten einen Überblick über die Messverfahren der cw und gepulsten Elektronen Paramagnetischen Resonanz (EPR)-Spektroskopie und eignen sich Kenntnisse über deren Anwendung im Bereich der Festkörperphysik und Materialwissenschaften an. Sie vertiefen ihre praktischen Kenntnisse durch die Bearbeitung eines eigenen Forschungsobjektes innerhalb des Praktikums.

**Inhalt** Im Praktikum werden den Studierenden die quantenmechanischen Grundlagen der cw EPR, deren experimentelle Technik und ein Überblick über deren verschiedene Anwendungsgebiete (Festkörper- und Halbleiterphysik, Materialwissenschaften) vermittelt. Weiterhin machen sich die Teilnehmer mit einer repräsentativen Auswahl von Impuls-EPR (ESEEM, HYSCORE) und Doppelresonanzexperimenten (ENDOR) vertraut.

**Teilnahmevoraussetzungen** Teilnahme an den Modulen 12-PHY-BW3MQ1 und 12-PHY-MWPMQ2 bzw. 12-PHY-MWPAMR1 oder vergleichbare Kenntnisse

**Literaturangabe** - Weil, Bolton: Electron Paramagnetic Resonance (Wiley)

**Vergabe von Leistungspunkten** Leistungspunkte werden mit erfolgreichem Abschluss des Moduls vergeben. Näheres regelt die Prüfungsordnung.

### Prüfungsleistungen und -vorleistungen

Modulprüfung: Schriftliche Ausarbeitung (Bearbeitungszeit 4 Wochen), mit Wichtung: 1	
	Praktikum "Electronic Spin Resonance Laboratory" (7SWS)

## Master of Science International Physics Studies Program (ab WS 2023/24)

Akademischer Grad	Modulnummer	Modulform
Master of Science	12-PHY-MWPPOC1	Wahlpflicht

### Modultitel **Physics of Cancer I**

**Modultitel (englisch)** Physics of Cancer I

**Empfohlen für:** 1. Semester

**Verantwortlich** Leiter:in der Abteilung Biologische Physik

**Dauer** 1 Semester

**Modulturnus** jedes Wintersemester

**Lehrformen**

- Vorlesung "Physics of Cancer I" (2 SWS) = 30 h Präsenzzeit und 45 h Selbststudium = 75 h
- Seminar "Physics of Cancer I" (2 SWS) = 30 h Präsenzzeit und 45 h Selbststudium = 75 h

**Arbeitsaufwand** 5 LP = 150 Arbeitsstunden (Workload)

**Verwendbarkeit**

B.Sc. IPSP  
M.Sc. Physics  
M.Sc. Physik  
M.Sc. IPSP

**Ziele**

Die Studierenden

- erhalten eine Einführung in ein interdisziplinäres Gebiet der Physik, Biochemie und Medizin,
- gewinnen grundlegende Kenntnisse über mechanische Eigenschaften von Krebszellen und Krebszellclustern und über physikalische Prozesse bei der Entstehung von Tumoren und ihrer bösartigen Fortschreitung
- erschließen sich aktuelle Entwicklungen auf dem Gebiet der Physik des Tumors.

**Inhalt**

1.) Vorlesung Physics of Cancer I  
Es werden grundlegende physikalische Eigenschaften von Tumorzellen behandelt, die für den Fortschritt der Krankheit von großer Bedeutung sind:

- Entstehung von Tumoren
- Gutartiger oder bösartiger Tumor und Metastasierung
- Merkmale von Krebserkrankungen
- Zellkulturtechnik von Krebszellen
- Einfluss der Zellkultur auf die Mechanik der Tumorzellen
- Motilitätssays in 2D und 3D und biochemische und physikalische Migrationsmodelle
- Interaktion von Tumorzellen mit ihrer Umgebung
- Einfluss der Umgebungsmechanik auf die Zellmechanik
- Entzündung und Tumore: Einfluss auf die mechanischen Eigenschaften von Tumorzellen
- Tumorspheroide und Messung ihrer mechanischen Eigenschaften
- Analyse der mechanischen Eigenschaften von Tumorsektanten

2.) Seminar Physics of Cancer I  
Im Seminar werden grundlegende Konzepte, experimentelle Methoden und

aktuelle wissenschaftliche Fachartikel zu den obigen Themengebieten behandelt. Die Teilnehmenden stellen Themen zu einem vorgegebenem grundlegenden Paper/Buch oder Konzept aus dem Bereich Physics of Cancer in Einzel- oder Gruppenreferaten vor und beantworten Fragen in der Diskussion zum Vortrag.

- Hinweis zur Prüfung: Die Zusammensetzung des Portfolios wird von den Lehrenden zu Beginn des Moduls bekanntgegeben. Beispiele für Leistungen im Portfolio sind: Präsentationen, Referate, Diskussionsbeiträge und schriftliche Tests. Die Bearbeitungszeit für die Zusammenstellung des Portfolios nach Erbringung aller Leistungen beträgt vier Wochen.

**Teilnahmevoraussetzungen**

keine

**Literaturangabe**

Claudia Tanja Mierke, Physics of Cancer Volume 1, IOP Publishing, Online ISBN: 978-0-7503-1753-5 and Print ISBN: 978-0-7503-1751-1  
Claudia Tanja Mierke, Physics of Cancer Volume 2, IOP Publishing, Online ISBN: 978-0-7503-2117-4 and Print ISBN: 978-0-7503-2114-3

**Vergabe von Leistungspunkten**

Leistungspunkte werden mit erfolgreichem Abschluss des Moduls vergeben. Näheres regelt die Prüfungsordnung.

**Prüfungsleistungen und -vorleistungen**

Modulprüfung: Portfolio, mit Wichtung: 1	
	Vorlesung "Physics of Cancer I" (2SWS)
	Seminar "Physics of Cancer I" (2SWS)

## Master of Science International Physics Studies Program (ab WS 2023/24)

Akademischer Grad	Modulnummer	Modulform
Master of Science	12-PHY-MWPPOC2	Wahlpflicht

### Modultitel **Physics of Cancer II**

**Modultitel (englisch)** Physics of Cancer II

**Empfohlen für:** 1. Semester

**Verantwortlich** Leiter:in der Abteilung Biologische Physik

**Dauer** 1 Semester

**Modulturnus** jedes Sommersemester

**Lehrformen**

- Vorlesung "Physics of Cancer II" (2 SWS) = 30 h Präsenzzeit und 45 h Selbststudium = 75 h
- Seminar "Physics of Cancer II" (2 SWS) = 30 h Präsenzzeit und 45 h Selbststudium = 75 h

**Arbeitsaufwand** 5 LP = 150 Arbeitsstunden (Workload)

**Verwendbarkeit**

B.Sc. IPSP  
M.Sc. Physics  
M.Sc. Physik  
M.Sc. IPSP

**Ziele**

Die Studierenden

- erhalten eine weiterführende Ausbildung in einem interdisziplinären Gebiet der Physik, Biochemie und Medizin,
- gewinnen grundlegende Kenntnisse über mechanische Eigenschaften von Krebszellen und interagierenden Zellen, sowie physikalische Prozesse bei fundamentalen biologischen Vorgängen im Tumor
- erschließen sich aktuelle Entwicklungen auf dem Gebiet der Physik des Tumors.

**Inhalt**

1.) Vorlesung Physics of Cancer II  
Es werden grundlegende physikalische Eigenschaften von Tumorzellen behandelt, die für den Fortschritt der Krankheit von großer Bedeutung sind:

- Einführung in die physikalische Tumorforschung
- Erläuterung verschiedener physikalischer Herangehensweisen an die Entstehung von Tumoren
- Modellsysteme zur Untersuchung der physikalischen Eigenschaften von Tumorzellen
- Interaktion von Tumorzellen und Endothelzellen und ihr wechselseitiger Einfluss auf die mechanischen Eigenschaften
- Entstehung von Tumorendothelzellen und ihre Charakterisierung
- Kombination von zellbiologischen Techniken mit physikalischen Techniken
- Selektion von malignen und hochinvasiven Tumorzellen
- Einfluss der Genexpression auf die Zellmechanik
- Struktur, Architektur und Mechanik von Tumorzellnuclei
- Theoretische Modelle der Tumorentstehung

2.) Seminar Physics of Cancer II  
Im Seminar werden aktuelle grundlegende Arbeiten aus dem Bereich der Physik des Tumors behandelt. Die Teilnehmenden stellen dazu Themen in Einzel- oder

Gruppenreferaten vor und beantworten Fragen in der Diskussion zum Vortrag.

Hinweis zur Prüfung: Die Zusammensetzung des Portfolios wird von den Lehrenden zu Beginn des Moduls bekanntgegeben. Beispiele für Leistungen im Portfolio sind: Präsentationen, Referate, Diskussionsbeiträge und schriftliche Tests. Die Bearbeitungszeit für die Zusammenstellung des Portfolios nach Erbringung aller Leistungen beträgt vier Wochen.

**Teilnahmevoraussetzungen**

Teilnahme am Modul Physics of Cancer I empfohlen

**Literaturangabe**

Claudia Tanja Mierke, Physics of Cancer Volume 1, IOP Publishing, Online ISBN: 978-0-7503-1753-5 and Print ISBN: 978-0-7503-1751-1  
 Claudia Tanja Mierke, Physics of Cancer Volume 2, IOP Publishing, Online ISBN: 978-0-7503-2117-4 and Print ISBN: 978-0-7503-2114-3

**Vergabe von Leistungspunkten**

Leistungspunkte werden mit erfolgreichem Abschluss des Moduls vergeben. Näheres regelt die Prüfungsordnung.

**Prüfungsleistungen und -vorleistungen**

Modulprüfung: Portfolio, mit Wichtung: 1	
	Vorlesung "Physics of Cancer II" (2SWS)
	Seminar "Physics of Cancer II" (2SWS)

## Master of Science International Physics Studies Program (ab WS 2023/24)

Akademischer Grad	Modulnummer	Modulform
Master of Science	12-PHY-MWPQFG1	Wahlpflicht

<b>Modultitel</b>	<b>General Relativity</b>
<b>Modultitel (englisch)</b>	General Relativity
<b>Empfohlen für:</b>	1. Semester
<b>Verantwortlich</b>	Leiter:in der Abteilung Quantenfeldtheorie und Gravitation, Leiter:in der Abteilung Theorie der Elementarteilchen
<b>Dauer</b>	1 Semester
<b>Modulturnus</b>	jedes Wintersemester
<b>Lehrformen</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Vorlesung "General Relativity" (4 SWS) = 60 h Präsenzzeit und 80 h Selbststudium = 140 h</li> <li>• Übung "General Relativity" (2 SWS) = 30 h Präsenzzeit und 130 h Selbststudium = 160 h</li> </ul>
<b>Arbeitsaufwand</b>	10 LP = 300 Arbeitsstunden (Workload)
<b>Verwendbarkeit</b>	B.Sc. IPSP M.Sc. IPSP M.Sc. Mathematical Physics M.Sc. Physics M.Sc. Physik
<b>Ziele</b>	Nach einer aktiven Teilnahme am Modul können die Studierenden: <ul style="list-style-type: none"> <li>- die grundlegenden Begriffe, Konzepte und Methoden der allgemeinen Relativitätstheorie mündlich und schriftlich darstellen und erläutern;</li> <li>- diese anwenden, um das Verhalten einfacher allgemein relativistischer Systeme zu untersuchen und vorherzusagen;</li> <li>- einfache Modellprobleme selbstständig bearbeiten, lösen und ihr Vorgehen begründen.</li> </ul>
<b>Inhalt</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Begriffe aus der speziellen Relativitätstheorie, Masse-Energie-Äquivalenz</li> <li>- Grundlagen der Differentialgeometrie: Mannigfaltigkeiten, Tangentialbündel, Tensorfelder, Metrik und Zusammenhänge, Geodäten, Riemannscher Krümmungstensor, Jacobigleichung, Isometrien, Foliationen</li> <li>- Einsteinsche Feldgleichung und Interpretation, spezielle Lösungen: Friedmann-Robertson-Walker kosmologische Modelle, kosmische Expansion; Schwarzschild-Außenraum-Lösung, Innenraum-Lösung.</li> <li>- Stabilität von Sternmaterie, Oppenheimer-Tolman-Volkhoff-Limit, Harrison-Wheeler-Diagramm, Chandrasekar-Grenze. Gravitationskollaps zu schwarzem Loch.</li> <li>- Raumzeit-Struktur von schwarzen Löchern, Singularitäten, Horizonte, kosmische Zensur, Singularitätentheoreme</li> </ul>
<b>Teilnahmevoraussetzungen</b>	keine
<b>Literaturangabe</b>	R.M. Wald: General Relativity, University of Chicago Press, 1984; S.M. Carroll: Spacetime and Geometry, Addison-Wesley 2003.

J.B. Hartle: Gravity: An Introduction to Einstein's General Relativity, Cummings 2002.

N. Straumann, General Relativity, Springer 2013.

**Vergabe von Leistungspunkten**

Leistungspunkte werden mit erfolgreichem Abschluss des Moduls vergeben. Näheres regelt die Prüfungsordnung.

**Prüfungsleistungen und -vorleistungen**

<b>Modulprüfung: Klausur 180 Min., mit Wichtung: 1</b>	
<i>Prüfungsvorleistung: Regelmäßig ausgegebene Übungsaufgaben aus dem Bereich des Modulinhalts. Für die Lösung werden Punkte vergeben. Voraussetzung für die Zulassung ist der Erwerb von 50% der möglichen Punkte des gesamten Semesters.</i>	
	Vorlesung "General Relativity" (4SWS)
	Übung "General Relativity" (2SWS)

## Master of Science International Physics Studies Program (ab WS 2023/24)

Akademischer Grad	Modulnummer	Modulform
Master of Science	12-PHY-MWPQFG2	Wahlpflicht

### Modultitel **Cosmology**

**Modultitel (englisch)** Cosmology

**Empfohlen für:** 1. Semester

**Verantwortlich** Leiter:in der Abteilung Quantenfeldtheorie und Gravitation

**Dauer** 1 Semester

**Modulturnus** mindestens einmal alle 2 Jahre

**Lehrformen**

- Vorlesung "Cosmology" (4 SWS) = 60 h Präsenzzeit und 80 h Selbststudium = 140 h
- Übung "Cosmology" (2 SWS) = 30 h Präsenzzeit und 130 h Selbststudium = 160 h

**Arbeitsaufwand** 10 LP = 300 Arbeitsstunden (Workload)

**Verwendbarkeit**

B.Sc. IPSP  
M.Sc. IPSP  
M.Sc. Mathematical Physics  
M.Sc. Physics  
M.Sc. Physik

**Ziele**

Nach einer aktiven Teilnahme am Modul können die Studierenden:

- die grundlegenden Begriffe, Konzepte, Methoden und Ergebnisse der modernen Kosmologie mündlich und schriftlich darstellen und erläutern;
- diese Methoden selbständig anwenden, um das Verhalten einfacher kosmologischer Modelle zu untersuchen, und ihr Vorgehen begründen.

**Inhalt**

- Historischer Überblick: Entwicklung der Kosmologie
- Beobachtungsmöglichkeiten und -ergebnisse, Entfernungsskalen, Materiezählung, Bewegung von Galaxien und Galaxienansammlungen
- Abriss Grundlagen der allgemeinen Relativitätstheorie, kosmologische Raumzeitmodelle, kosmische Expansion in der Theorie und Vergleich mit Beobachtungsergebnissen
- Thermisches Verhalten von Strahlung und Materie im frühen Universum, Baryogenese, Nukleosynthese, Rekombination; Helium-Überschuss, Hintergrundstrahlungstemperatur
- Horizont-Problem, inflationäre Szenarien
- Dunkle Materie
- Fluktuationen der Geometrie im frühen Universum als Keime der Strukturbildung, Quantisierung

**Teilnahmevoraussetzungen** keine

**Literaturangabe**

H. Goenner: Kosmologie, Spektrum, 1998  
S. Weinberg: Cosmology, Oxford University Press, 2008  
S. Dodelson: Modern Cosmology, Academic Press, 2003



**Vergabe von Leistungspunkten**

Leistungspunkte werden mit erfolgreichem Abschluss des Moduls vergeben.  
Näheres regelt die Prüfungsordnung.

**Prüfungsleistungen und -vorleistungen**

Modulprüfung: Mündliche Prüfung 45 Min., mit Wichtung: 1	
	Vorlesung "Cosmology" (4SWS)
	Übung "Cosmology" (2SWS)

## Master of Science International Physics Studies Program (ab WS 2023/24)

Akademischer Grad	Modulnummer	Modulform
Master of Science	12-PHY-MWPQFG3	Wahlpflicht

<b>Modultitel</b>	<b>Quantum Field Theory on Curved Space Times</b>
<b>Modultitel (englisch)</b>	Quantum Field Theory on Curved Space Times
<b>Empfohlen für:</b>	1. Semester
<b>Verantwortlich</b>	Leiter:in der Abteilung Quantenfeldtheorie und Gravitation
<b>Dauer</b>	1 Semester
<b>Modulturnus</b>	mindestens einmal alle 2 Jahre
<b>Lehrformen</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Vorlesung "Quantum Field Theory on Curved Space Times" (4 SWS) = 60 h Präsenzzeit und 80 h Selbststudium = 140 h</li> <li>• Übung "Quantum Field Theory on Curved Space Times" (2 SWS) = 30 h Präsenzzeit und 130 h Selbststudium = 160 h</li> </ul>
<b>Arbeitsaufwand</b>	10 LP = 300 Arbeitsstunden (Workload)
<b>Verwendbarkeit</b>	B.Sc. IPSP M.Sc. IPSP M.Sc. Mathematical Physics M.Sc. Physics M.Sc. Physik
<b>Ziele</b>	Nach einer aktiven Teilnahme am Modul können die Studierenden: <ul style="list-style-type: none"> <li>- die grundlegenden Begriffe, Konzepte und Methoden der Quantenfeldtheorie auf gekrümmten Raumzeiten mündlich und schriftlich darstellen und erläutern;</li> <li>- diese anwenden, um das Verhalten einfacher feldtheoretischer Systeme zu untersuchen und vorherzusagen;</li> <li>- einfache Modellprobleme selbstständig bearbeiten, lösen und ihr Vorgehen begründen.</li> </ul>
<b>Inhalt</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Quantisierung von linearen Feldtheorien im Minkowskiraum</li> <li>- Global hyperbolische Raumzeiten, Quantisierung linearer Felder auf global hyperbolischen Raumzeiten, Hadamard-Zustände</li> <li>- Allgemein kovariante Quantenfeldtheorie: Grundlagen, Strukturaussagen</li> <li>- Teilchenerzeugung in externen Gravitationsfeldern für lineare Quantenfelder</li> <li>- Hawking-Effekt</li> <li>- Teilchenerzeugung im frühen Universum</li> <li>- Der renormierte Energie-Impuls-Tensor</li> <li>- Ausblick: Perturbatives Quantisierungs/Renormierungsprogramm für wechselwirkende Quantenfelder</li> </ul>
<b>Teilnahmevoraussetzungen</b>	keine
<b>Literaturangabe</b>	R.M. Wald: General Relativity, University of Chicago Press, 1984; R.M. Wald: Quantum Field Theory in Curved Spacetime and Black Hole Thermodynamics, University of Chicago Press, 1996 R. Haag: Local Quantum Physics, Springer, 2nd ed., 1996 S. Fulling: Aspects of Quantum Field Theory in Curved Spacetime, CUP, 1990

N.D. Birrell, P.C.W. Davies: Quantum fields in curved space, CUP 1984

**Vergabe von Leistungspunkten**

Leistungspunkte werden mit erfolgreichem Abschluss des Moduls vergeben.  
Näheres regelt die Prüfungsordnung.

**Prüfungsleistungen und -vorleistungen**

Modulprüfung: Mündliche Prüfung 45 Min., mit Wichtung: 1	
	Vorlesung "Quantum Field Theory on Curved Space Times" (4SWS)
	Übung "Quantum Field Theory on Curved Space Times" (2SWS)

## Master of Science International Physics Studies Program (ab WS 2023/24)

Akademischer Grad	Modulnummer	Modulform
Master of Science	12-PHY-MWPQFG6	Wahlpflicht

<b>Modultitel</b>	<b>Practical Course: Quantum Field Theory and Gravity</b>
<b>Modultitel (englisch)</b>	Practical Course: Quantum Field Theory and Gravity
<b>Empfohlen für:</b>	1. Semester
<b>Verantwortlich</b>	Leiter:in der Abteilung Quantenfeldtheorie und Gravitation
<b>Dauer</b>	1 Semester
<b>Modulturnus</b>	jedes Semester
<b>Lehrformen</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Praktikum "Practical Course: Quantum Field Theory and Gravity" (2 SWS) = 30 h Präsenzzeit und 120 h Selbststudium = 150 h</li> </ul>
<b>Arbeitsaufwand</b>	5 LP = 150 Arbeitsstunden (Workload)
<b>Verwendbarkeit</b>	B.Sc. IPSP M.Sc. IPSP M.Sc. Mathematical Physics M.Sc. Physics M.Sc. Physik
<b>Ziele</b>	Nach einer aktiven Teilnahme am Modul können die Studierenden: <ul style="list-style-type: none"> <li>- sich in konzeptionelle und methodische Techniken der Quantenfeldtheorie und Gravitation einarbeiten,</li> <li>- Grundbegriffe der Literaturrecherche</li> <li>- einfache Modellprobleme selbstständig bearbeiten, lösen und ihr Vorgehen begründen.</li> </ul>
<b>Inhalt</b>	Die Inhalte des Moduls werden den Interessen und dem Wissensstand des/der Studierenden angepasst. Folgende Themenbereiche stehen zum Beispiel dem/der Studierenden zur Auswahl: Eichfeldtheorie, differentialgeometrische Aspekte der Theoret. Physik, Gravitationstheorie, Quantenfeldtheorie, nicht-kommutative Geometrie, Quanteninformationstheorie  Die Lehrveranstaltungen werden in englischer Sprache gehalten. Studien- und Prüfungsleistungen sind in englischer Sprache zu erbringen.
<b>Teilnahmevoraussetzungen</b>	keine
<b>Literaturangabe</b>	Hinweise zu Literaturangaben erfolgen in den Lehrveranstaltungen.
<b>Vergabe von Leistungspunkten</b>	Leistungspunkte werden mit erfolgreichem Abschluss des Moduls vergeben. Näheres regelt die Prüfungsordnung.

**Prüfungsleistungen und -vorleistungen**

Modulprüfung: Projektarbeit (Bearbeitungszeit 4 Wo., Präsentation 45 Min.), mit Wichtung: 1	
	Praktikum "Practical Course: Quantum Field Theory and Gravity" (2SWS)

## Master of Science International Physics Studies Program (ab WS 2023/24)

Akademischer Grad	Modulnummer	Modulform
Master of Science	12-PHY-MWPQSB	Wahlpflicht

### Modultitel Quantitative Systems Biophysics

**Modultitel (englisch)** Quantitative Systems Biophysics

**Empfohlen für:** 1. Semester

**Verantwortlich** Leitung der Abteilung Statistische Physik der Evolution

**Dauer** 1 Semester

**Modulturnus** mindestens einmal alle 2 Jahre

**Lehrformen**

- Vorlesung "Quantitative Systems Biophysics" (2 SWS) = 30 h Präsenzzeit und 45 h Selbststudium = 75 h
- Seminar "Quantitative Systems Biophysics" (2 SWS) = 30 h Präsenzzeit und 45 h Selbststudium = 75 h

**Arbeitsaufwand** 5 LP = 150 Arbeitsstunden (Workload)

**Verwendbarkeit**

- B.Sc. IPSP
- B.Sc. International Physics Studies Program (Honours)
- M.Sc. Physics
- M.Sc. International Physics Studies Program

**Ziele**

Nach Abschluss des Moduls verfügen die Studierenden über ein erweitertes Verständnis der physikalischen Prinzipien, die der Organisation, Dynamik und Funktion lebender Systeme zugrunde liegen. Sie können komplexe biologische Prozesse wie zellulären Stoffwechsel, Wachstum und Signaltransduktion mit Hilfe mathematischer Modelle beschreiben und analysieren. Dabei beherrschen sie Schlüsselkonzepte wie Materie- und Energieflüsse, die Optimierung biologischer Netzwerke sowie die Rolle von Rauschen und Stochastik in Signalübertragung und Entscheidungsfindung. Durch die Auseinandersetzung mit grundlegender und aktueller Forschungsliteratur entwickeln sie die Fähigkeit, biophysikalische Daten kritisch zu bewerten, mathematisch zu interpretieren und innovative Ansätze in der Systembiophysik, Systembiologie und Biotechnologie zu gestalten. Das Modul fördert interdisziplinäres Denken an der Schnittstelle von Physik, Biologie und Mathematik sowie die Fähigkeit, wissenschaftliche Ergebnisse klar zu kommunizieren und in einen fachübergreifenden Kontext zu setzen.

**Inhalt**

Methoden der quantitativen Biophysik spielen eine zentrale Rolle beim Verständnis der Organisation und Dynamik lebender Systeme. Dieses Modul führt in die physikalischen und mathematischen Grundlagen sowie die dynamischen Prozesse biologischer Systeme ein.

Die Inhalte umfassen:

- Schlüsselkonzepte der quantitativen Biophysik und Systembiologie
- Anwendung mathematischer und physikalischer Modelle auf biologische Prozesse
- Physikalische Grundlagen von Wachstum, Stoffwechsel, Genexpression und Signalübertragung
- Thermodynamik des Stoffwechsels, zelluläre Energetik und Ressourcennutzung

- Biophysikalische Grenzen des Wachstums und Prinzipien der Regulation
- Fluktuationen, Stochastizität und Robustheit in biologischen Systemen
- Anwendungen in Biotechnologie, synthetischer Biologie, Ökologie und Medizin

**Teilnahmevoraussetzungen**

keine

**Literaturangabe**

- [1] Uri Alon. An Introduction to Systems Biology: Design Principles of Biological Circuits. CRC Press.
- [2] Rob Phillips, Jané Kondev, Julie Theriot, Hernan Garcia. Physical Biology of the Cell. Garland Science.
- [3] Daniel A. Beard, Hong Qian, Chemical Biophysics: Quantitative Analysis of Cellular Systems. Cambridge University Press.
- Zusätzliche Primärliteratur wird im Seminar bekanntgegeben.

**Vergabe von Leistungspunkten**

Leistungspunkte werden mit erfolgreichem Abschluss des Moduls vergeben. Näheres regelt die Prüfungsordnung.

**Prüfungsleistungen und -vorleistungen**

Modulprüfung: Mündliche Prüfung 30 Min., mit Wichtung: 2	
	Vorlesung "Quantitative Systems Biophysics" (2SWS)
Seminarvortrag 15 Min., mit Wichtung: 1	Seminar "Quantitative Systems Biophysics" (2SWS)

## Master of Science International Physics Studies Program (ab WS 2023/24)

Akademischer Grad	Modulnummer	Modulform
Master of Science	12-PHY-MWPQT2	Wahlpflicht

<b>Modultitel</b>	<b>Quantum Technology 2</b>
<b>Modultitel (englisch)</b>	Quantum Technology 2
<b>Empfohlen für:</b>	1. Semester
<b>Verantwortlich</b>	Leiter:in der Abteilung Angewandte Quantensysteme
<b>Dauer</b>	1 Semester
<b>Modulturnus</b>	jedes Sommersemester
<b>Lehrformen</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Vorlesung "Quantum Technology 2" (2 SWS) = 30 h Präsenzzeit und 45 h Selbststudium = 75 h</li> <li>• Seminar "Quantum Technology 2" (1 SWS) = 15 h Präsenzzeit und 60 h Selbststudium = 75 h</li> </ul>
<b>Arbeitsaufwand</b>	5 LP = 150 Arbeitsstunden (Workload)
<b>Verwendbarkeit</b>	B.Sc. IPSP M.Sc. Physics M.Sc. Physik M.Sc. IPSP
<b>Ziele</b>	Die Studierenden sind nach der erfolgreichen Teilnahme am Kurs in der Lage <ul style="list-style-type: none"> <li>- sich, aufbauend auf einer soliden physikalischen Grundausbildung, eine aktuelle Anwendung der Quantenoptik in Wissenschaft und Technik selbstständig zu erschließen und in Form einer Präsentation darzustellen</li> <li>- Methoden und Herausforderungen der Quantenoptik zu erklären und zu bewerten</li> <li>- das erlernte Wissen auf hypothetische Einsatzszenarien anzuwenden.</li> </ul>
<b>Inhalt</b>	Die Vorlesung gibt eine Einführung in Quantenoptik. Themenkomplexe: Atom-Licht WW, Laser, Photostatistik, Antibunching, Fockstate, Coherentstate, squeezed light, Atom in cavities, Entangled states, Quantum cryptography.
<b>Teilnahmevoraussetzungen</b>	keine
<b>Literaturangabe</b>	Introduction to Quantum optics: G. Grynberg, A. Aspect and C Fabre, ISBN978-0-521-55112-0; Quantum Optics: M.O. Scully and M.S.Zubairy 2008, ISBN978-0-521-43595-6
<b>Vergabe von Leistungspunkten</b>	Leistungspunkte werden mit erfolgreichem Abschluss des Moduls vergeben. Näheres regelt die Prüfungsordnung.



**Prüfungsleistungen und -vorleistungen**

<b>Modulprüfung: Klausur 120 Min., mit Wichtung: 1</b>	
	Vorlesung "Quantum Technology 2" (2SWS)
	Seminar "Quantum Technology 2" (1SWS)

## Master of Science International Physics Studies Program (ab WS 2023/24)

Akademischer Grad	Modulnummer	Modulform
Master of Science	12-PHY-MWPQT3	Wahlpflicht

<b>Modultitel</b>	<b>Quantum Technology 3</b>
<b>Modultitel (englisch)</b>	Quantum Technology 3
<b>Empfohlen für:</b>	1. Semester
<b>Verantwortlich</b>	Leiter:in der Abteilung Angewandte Quantensysteme
<b>Dauer</b>	1 Semester
<b>Modulturnus</b>	jedes Wintersemester
<b>Lehrformen</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Vorlesung "Quantum Technology 3" (2 SWS) = 30 h Präsenzzeit und 45 h Selbststudium = 75 h</li> <li>• Seminar "Quantum Technology 3" (1 SWS) = 15 h Präsenzzeit und 60 h Selbststudium = 75 h</li> </ul>
<b>Arbeitsaufwand</b>	5 LP = 150 Arbeitsstunden (Workload)
<b>Verwendbarkeit</b>	B.Sc. IPSP M.Sc. Physics M.Sc. Physik M.Sc. IPSP
<b>Ziele</b>	Die Studierenden sind nach der erfolgreichen Teilnahme am Kurs in der Lage <ul style="list-style-type: none"> <li>- sich, aufbauend auf einer soliden physikalischen Grundausbildung, eine aktuelle Anwendung von Quantentechnologie in Wissenschaft und Technik selbstständig zu erschließen und in Form einer Präsentation darzustellen</li> <li>- Methoden und Herausforderungen der Quantentechnologie zu erklären und zu bewerten</li> <li>- das erlernte Wissen auf hypothetische Einsatzszenarien anzuwenden.</li> </ul>
<b>Inhalt</b>	Die Vorlesung gibt eine Einführung in Quantentechnologie, Quantencomputer und Quantensensoren. Themenkomplexe: Was sind Qubits? Grundlagen eines Computers, Quantencomputer, Quantenerrorcorrection, Adiabatischer QC (D-WAVE), Quanten-Sensoren, Praktische Realisierung.
<b>Teilnahmevoraussetzungen</b>	keine Teilnahme am Modul 12-PHY-MWPQT2 wird empfohlen.
<b>Literaturangabe</b>	Quantum Computation and Quantum Information: M.A. Nielsen and I.L.Chung. ISBN 978-1-1-107-00217-3
<b>Vergabe von Leistungspunkten</b>	Leistungspunkte werden mit erfolgreichem Abschluss des Moduls vergeben. Näheres regelt die Prüfungsordnung.

**Prüfungsleistungen und -vorleistungen**

<b>Modulprüfung: Klausur 120 Min., mit Wichtung: 1</b>	
	Vorlesung "Quantum Technology 3" (2SWS)
	Seminar "Quantum Technology 3" (1SWS)

## Master of Science International Physics Studies Program (ab WS 2023/24)

Akademischer Grad	Modulnummer	Modulform
Master of Science	12-PHY-MWPSEF1	Wahlpflicht

### Modultitel **X-Ray Techniques**

**Modultitel (englisch)** X-Ray Techniques

**Empfohlen für:** 1. Semester

**Verantwortlich** Leiter:in der Abteilung Struktur und Eigenschaften komplexer Festkörper

**Dauer** 1 Semester

**Modulturnus** mindestens einmal alle 2 Jahre

**Lehrformen**

- Vorlesung "X-Ray Techniques" (2 SWS) = 30 h Präsenzzeit und 45 h Selbststudium = 75 h
- Seminar "X-Ray Techniques" (1 SWS) = 15 h Präsenzzeit und 60 h Selbststudium = 75 h

**Arbeitsaufwand** 5 LP = 150 Arbeitsstunden (Workload)

**Verwendbarkeit**

B.Sc. IPSP  
M.Sc. Physics  
M.Sc. Physik  
M.Sc. IPSP

**Ziele**

Die Studierenden erwerben grundlegende Kenntnisse über verschiedene röntgenbasierte Untersuchungsmethoden, die zur Analyse der Struktur und Zusammensetzung von Festkörpern genutzt werden. Anhand konkreter Anwendungsbeispiele werden sie befähigt, die Möglichkeiten und Grenzen der verschiedenen Methoden zu analysieren und zu evaluieren. Sie können sich ausgewählte, vertiefende Aspekte selbständig erarbeiten, in den Kontext der Vorlesung einordnen und in einem Vortrag präsentieren.

**Inhalt**

- Röntgenquellen: Röntgenröhren, Synchrotrons, andere Quellen
- Röntgenbeugungs- und -streuungstechniken
- Röntgenabsorptions-, Emissions- und Fluoreszenztechniken
- Röntgenbildgebung für die Materialanalyse

**Teilnahmevoraussetzungen** keine

**Literaturangabe**

Als-Nielsen, Elements of Modern X-ray Physics, Wiley  
Zolotoyabko, Basic concepts of X-ray diffraction, Wiley  
Bokhoven/Lamberti, X-Ray Absorption and X-Ray Emission Spectroscopy, Wiley

**Vergabe von Leistungspunkten** Leistungspunkte werden mit erfolgreichem Abschluss des Moduls vergeben. Näheres regelt die Prüfungsordnung.

**Prüfungsleistungen und -vorleistungen**

<b>Modulprüfung: Mündliche Prüfung 30 Min., mit Wichtung: 1</b>	
<i>Prüfungsvorleistung: Referat (20 min) mit schriftlicher Ausarbeitung (3 Wochen)</i>	
	Vorlesung "X-Ray Techniques" (2SWS)
	Seminar "X-Ray Techniques" (1SWS)

## Master of Science International Physics Studies Program (ab WS 2023/24)

Akademischer Grad	Modulnummer	Modulform
Master of Science	12-PHY-MWPSKM	Wahlpflicht

<b>Modultitel</b>	<b>Specialized Topics of Solid State Physics</b>
<b>Modultitel (englisch)</b>	Specialized Topics of Solid State Physics
<b>Empfohlen für:</b>	1. Semester
<b>Verantwortlich</b>	Direktor/in des Felix-Bloch-Instituts für Festkörperphysik
<b>Dauer</b>	1 Semester
<b>Modulturnus</b>	mindestens jedes zweite Semester
<b>Lehrformen</b>	• Seminar mit Übungsanteil "Specialized Topics of Solid State Physics" (2 SWS) = 30 h Präsenzzeit und 120 h Selbststudium = 150 h
<b>Arbeitsaufwand</b>	5 LP = 150 Arbeitsstunden (Workload)
<b>Verwendbarkeit</b>	M Sc. Physics M Sc. International Physics Studies Program B.Sc. International Physics Studies Program (Honours)
<b>Ziele</b>	Nach aktiver Teilnahme am Modul sind die Studierenden in der Lage, zu fortgeschrittenen Themen der Festkörperphysik Literaturquellen zu erschließen und kritisch zu analysieren. Zudem können sich die Studierenden in ein aktuelles Forschungsthema einarbeiten und dieses in schriftlicher und mündlicher Form verständlich darstellen. Die Studierenden vertiefen so ihre Fähigkeiten in Recherche- und Präsentationstechniken, im Erstellen wissenschaftlicher Dokumente und in der strukturierten Darstellung komplexer wissenschaftlicher Zusammenhänge.
<b>Inhalt</b>	Das Seminar befasst sich mit einem speziellen aktuellen Forschungsgebiet der Festkörperphysik. Themen aus diesem Forschungsgebiet werden von den Studierenden in mündlichen, medial unterstützten Referaten präsentiert und ausführlich zur Diskussion gestellt. Anschließend werden die Themen in einer schriftlichen Ausarbeitung dargestellt, wobei explizit auf die Diskussionsergebnisse eingegangen werden soll.
<b>Teilnahmevoraussetzungen</b>	keine
<b>Literaturangabe</b>	R. Geroch: "Suggestions for giving talks" Weitere Hinweise zu Literaturangaben erfolgen in den Lehrveranstaltungen.
<b>Vergabe von Leistungspunkten</b>	Leistungspunkte werden mit erfolgreichem Abschluss des Moduls vergeben. Näheres regelt die Prüfungsordnung.

**Prüfungsleistungen und -vorleistungen**

<b>Modulprüfung: Projektarbeit: schriftliche Ausarbeitung (3 Wochen) und Präsentation (45 Min.), mit Wichtung: 1</b>	
	Seminar mit Übungsanteil "Specialized Topics of Solid State Physics" (2SWS)

## Master of Science International Physics Studies Program (ab WS 2023/24)

Akademischer Grad	Modulnummer	Modulform
Master of Science	12-PHY-MWPSMP	Wahlpflicht

<b>Modultitel</b>	<b>Specialized Topics of Theoretical and Mathematical Physics</b>
<b>Modultitel (englisch)</b>	Specialized Topics of Theoretical and Mathematical Physics
<b>Empfohlen für:</b>	1. Semester
<b>Verantwortlich</b>	Direktor/in des Instituts für Theoretische Physik
<b>Dauer</b>	1 Semester
<b>Modulturnus</b>	mindestens jedes zweite Semester
<b>Lehrformen</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Seminar mit Übungsanteil "Specialized Topics of Theoretical and Mathematical Physics" (2 SWS) = 30 h Präsenzzeit und 120 h Selbststudium = 150 h</li> </ul>
<b>Arbeitsaufwand</b>	5 LP = 150 Arbeitsstunden (Workload)
<b>Verwendbarkeit</b>	M Sc. Physics M Sc. International Physics Studies Program M Sc. Mathematical Physics B.Sc. International Physics Studies Program (Honours)
<b>Ziele</b>	Nach aktiver Teilnahme am Modul sind die Studierenden in der Lage, zu fortgeschrittenen Themen der mathematischen und theoretischen Physik Literaturquellen zu erschließen und kritisch zu analysieren. Zudem können sich die Studierenden in ein aktuelles Forschungsthema einarbeiten und dieses in schriftlicher und mündlicher Form verständlich darstellen. Die Studierenden vertiefen so ihre Fähigkeiten in Recherche- und Präsentationstechniken, im Erstellen wissenschaftlicher Dokumente und in der strukturierten Darstellung komplexer wissenschaftlicher Zusammenhänge.
<b>Inhalt</b>	Das Seminar befasst sich mit einem speziellen aktuellen Forschungsgebiet der mathematischen und theoretischen Physik. Themen aus diesem Forschungsgebiet werden von den Studierenden in mündlichen, medial unterstützten Referaten präsentiert und ausführlich zur Diskussion gestellt. Anschließend werden die Themen in einer schriftlichen Ausarbeitung dargestellt, wobei explizit auf die Diskussionsergebnisse eingegangen werden soll.
<b>Teilnahmevoraussetzungen</b>	keine
<b>Literaturangabe</b>	R. Geroch: "Suggestions for giving talks" Weitere Hinweise zu Literaturangaben erfolgen in den Lehrveranstaltungen.
<b>Vergabe von Leistungspunkten</b>	Leistungspunkte werden mit erfolgreichem Abschluss des Moduls vergeben. Näheres regelt die Prüfungsordnung.



**Prüfungsleistungen und -vorleistungen**

<b>Modulprüfung: Projektarbeit: schriftliche Ausarbeitung (3 Wochen) und Präsentation (45 Min.), mit Wichtung: 1</b>	
	Seminar mit Übungsanteil "Specialized Topics of Theoretical and Mathematical Physics" (2SWS)

## Master of Science International Physics Studies Program (ab WS 2023/24)

Akademischer Grad	Modulnummer	Modulform
Master of Science	12-PHY-MWPSTP	Wahlpflicht

<b>Modultitel</b>	<b>Specialized Topics of Theoretical Physics</b>
<b>Modultitel (englisch)</b>	Specialized Topics of Theoretical Physics
<b>Empfohlen für:</b>	1. Semester
<b>Verantwortlich</b>	Direktor/in des Instituts für Theoretische Physik
<b>Dauer</b>	1 Semester
<b>Modulturnus</b>	mindestens jedes zweite Semester
<b>Lehrformen</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Seminar mit Übungsanteil "Specialized Topics of Theoretical Physics" (2 SWS) = 30 h Präsenzzeit und 120 h Selbststudium = 150 h</li> </ul>
<b>Arbeitsaufwand</b>	5 LP = 150 Arbeitsstunden (Workload)
<b>Verwendbarkeit</b>	M Sc. Physics M Sc. International Physics Studies Program M Sc. Mathematical Physics B.Sc. International Physics Studies Program (Honours)
<b>Ziele</b>	Nach aktiver Teilnahme am Modul sind die Studierenden in der Lage, zu fortgeschrittenen Themen der theoretischen Physik Literaturquellen zu erschließen und kritisch zu analysieren. Zudem können sich die Studierenden in ein aktuelles Forschungsthema einarbeiten und dieses in schriftlicher und mündlicher Form verständlich darstellen. Die Studierenden vertiefen so ihre Fähigkeiten in Recherche- und Präsentationstechniken, im Erstellen wissenschaftlicher Dokumente und in der strukturierten Darstellung komplexer wissenschaftlicher Zusammenhänge.
<b>Inhalt</b>	Das Seminar befasst sich mit einem speziellen aktuellen Forschungsgebiet der theoretischen Physik. Themen aus diesem Forschungsgebiet werden von den Studierenden in mündlichen, medial unterstützten Referaten präsentiert und ausführlich zur Diskussion gestellt. Anschließend werden die Themen in einer schriftlichen Ausarbeitung dargestellt, wobei explizit auf die Diskussionsergebnisse eingegangen werden soll.
<b>Teilnahmevoraussetzungen</b>	keine
<b>Literaturangabe</b>	R. Geroch: "Suggestions for giving talks" Weitere Hinweise zu Literaturangaben erfolgen in den Lehrveranstaltungen.
<b>Vergabe von Leistungspunkten</b>	Leistungspunkte werden mit erfolgreichem Abschluss des Moduls vergeben. Näheres regelt die Prüfungsordnung.

**Prüfungsleistungen und -vorleistungen**

<b>Modulprüfung: Projektarbeit: schriftliche Ausarbeitung (3 Wochen) und Präsentation (45 Min.), mit Wichtung: 1</b>	
	Seminar mit Übungsanteil "Specialized Topics of Theoretical Physics" (2SWS)

## Master of Science International Physics Studies Program (ab WS 2023/24)

Akademischer Grad	Modulnummer	Modulform
Master of Science	12-PHY-MWPSTP1	Wahlpflicht

<b>Modultitel</b>	<b>Quantum Field Theory of Many-Particle Systems</b>
<b>Modultitel (englisch)</b>	Quantum Field Theory of Many-Particle Systems
<b>Empfohlen für:</b>	1. Semester
<b>Verantwortlich</b>	Leiter:in der Abteilung Statistische Physik
<b>Dauer</b>	1 Semester
<b>Modulturnus</b>	mindestens einmal alle 2 Jahre
<b>Lehrformen</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Vorlesung "Quantum Field Theory of Many-Particle Systems" (4 SWS) = 60 h Präsenzzeit und 140 h Selbststudium = 200 h</li> <li>• Übung "Quantum Field Theory of Many-Particle Systems" (2 SWS) = 30 h Präsenzzeit und 70 h Selbststudium = 100 h</li> </ul>
<b>Arbeitsaufwand</b>	10 LP = 300 Arbeitsstunden (Workload)
<b>Verwendbarkeit</b>	B.Sc. IPSP M.Sc. IPSP M.Sc. Mathematical Physics M.Sc. Physics M.Sc. Physik
<b>Ziele</b>	Die Studierenden lernen sowohl wesentliche Konzepte und Methoden der Quantenfeldtheorie kennen als auch wichtige Anwendungsbeispiele. Ausgehend von Funktionalintegralen werden durch die Behandlung von Anwendungen aus den Bereichen Nanophysik, ungeordnete Systeme und stark korrelierte Systeme Kenntnisse vermittelt, die die Bearbeitung aktueller Probleme auf dem Gebiet der Vielteilchenphysik mit Methoden der Quantenfeldtheorie erlauben.
<b>Inhalt</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Funktionalintegrale für Vielteilchensysteme</li> <li>- Greensche Funktionen, Antwortfunktionen und Observable</li> <li>- Störungstheorie und mittlere Feldnäherung</li> <li>- Kollektive Quantenfelder und Fluktuationen</li> <li>- Renormierungsgruppe</li> <li>- dissipatives Quantentunneln</li> <li>- topologische Feldtheorie</li> </ul>
<b>Teilnahmevoraussetzungen</b>	keine
<b>Literaturangabe</b>	A. Altland and B.D. Simons, Condensed Matter Field Theory (Cambridge University Press); X.-G. Wen, Quantum Field Theory of Many-Body Systems: From the Origin of Sound to an Origin of Light and Electrons (Oxford Graduate Texts); H. Orland and J.W. Negele Quantum Many Particle Systems, Addison-Wesley;
<b>Vergabe von Leistungspunkten</b>	Leistungspunkte werden mit erfolgreichem Abschluss des Moduls vergeben. Näheres regelt die Prüfungsordnung.

**Prüfungsleistungen und -vorleistungen****Modulprüfung: Klausur 180 Min., mit Wichtung: 1**

*Prüfungsvorleistung: Regelmäßig ausgegebene Übungsaufgaben aus dem Bereich des Modulinhalts. Für die Lösung werden Punkte vergeben. Voraussetzung für die Zulassung ist der Erwerb von 50% der möglichen Punkte des gesamten Semesters.*

	Vorlesung "Quantum Field Theory of Many-Particle Systems" (4SWS)
	Übung "Quantum Field Theory of Many-Particle Systems" (2SWS)

## Master of Science International Physics Studies Program (ab WS 2023/24)

Akademischer Grad	Modulnummer	Modulform
Master of Science	12-PHY-MWPSTP2	Wahlpflicht

### Modultitel **Statistical Mechanics of Deep Learning**

**Modultitel (englisch)** Statistical Mechanics of Deep Learning

**Empfohlen für:** 1. Semester

**Verantwortlich** Leitung der Abteilung Statistische Physik

**Dauer** 1 Semester

**Modulturnus** jedes Wintersemester

**Lehrformen**

- Vorlesung "Statistical Mechanics of Deep Learning" (4 SWS) = 60 h Präsenzzeit und 90 h Selbststudium = 150 h
- Seminar "Statistical Mechanics of Deep Learning" (2 SWS) = 30 h Präsenzzeit und 120 h Selbststudium = 150 h

**Arbeitsaufwand** 10 LP = 300 Arbeitsstunden (Workload)

**Verwendbarkeit**

M.Sc. Physics  
M.Sc. Mathematical Physics  
M.Sc. IPSP  
B.Sc. International Physics Studies Program (Honours)

**Ziele**

Die Studierenden erwerben Kenntnisse über grundsätzliche Einsichten der statistischen Mechanik in die Funktionsweise von neuronalen Netzwerken. Hierbei werden physikalische Techniken verwendet, welche auch zur Analyse von wechselwirkenden Spinsystemen eingesetzt werden. Mit den erworbenen Kenntnissen erhalten die Studenten Einsichten in die Funktionsweise von tiefen neuronalen Netzwerken. Sie werden befähigt, Fachliteratur zur statistischen Analyse neuronaler Netzwerke zu verstehen, zu diskutieren und zu bewerten.

**Inhalt**

Struktur von tiefen neuronalen Netzwerken, Back-Propagation Algorithmus, Training von neuronalen Netzen am Beispiel des MNIST Datensatzes, Analyse von Gibbs und Online-Lernen eines Perzeptrons in der Lehrer-Schüler Konfiguration, Berechnung von Quenched Averages mit Hilfe der Replika-Methode, Analyse von Zweischicht-Netzwerken am Beispiel der Committee Machine, Bias-Variance Trade-off, Zufallsmatrix-Theorie und Analyse von Gewichts-Matrizen, Anwendung neuronaler Netze zur Lösung physikalischer Probleme

**Teilnahmevoraussetzungen** keine

**Literaturangabe** - A. Engel and C. van den Broeck, Statistical Mechanics of Learning, Cambridge University Press

**Vergabe von Leistungspunkten** Leistungspunkte werden mit erfolgreichem Abschluss des Moduls vergeben. Näheres regelt die Prüfungsordnung.

**Prüfungsleistungen und -vorleistungen****Modulprüfung: Klausur 180 Min., mit Wichtung: 1**

*Prüfungsvorleistung: Wöchentlich ausgegebene Übungsaufgaben zu Fragen aus dem Bereich des Modulinhalts. Für die Lösung werden Punkte vergeben. Voraussetzung für die Zulassung zur Prüfung ist der Erwerb von 50% der möglichen Punkte des gesamten Semesters.*

	Vorlesung "Statistical Mechanics of Deep Learning" (4SWS)
	Seminar "Statistical Mechanics of Deep Learning" (2SWS)

## Master of Science International Physics Studies Program (ab WS 2023/24)

Akademischer Grad	Modulnummer	Modulform
Master of Science	12-PHY-MWPSUM2	Wahlpflicht

### Modultitel **Superconductivity II**

**Modultitel (englisch)** Superconductivity II

**Empfohlen für:** 1. Semester

**Verantwortlich** Leiter:in der Abteilung Supraleitung und Magnetismus

**Dauer** 1 Semester

**Modulturnus** jedes Sommersemester

**Lehrformen**

- Vorlesung "Superconductivity II" (2 SWS) = 30 h Präsenzzeit und 45 h Selbststudium = 75 h
- Praktikum "Superconductivity II" (2 SWS) = 30 h Präsenzzeit und 45 h Selbststudium = 75 h

**Arbeitsaufwand** 5 LP = 150 Arbeitsstunden (Workload)

**Verwendbarkeit**

B.Sc. IPSP  
M.Sc. Physics  
M.Sc. Physik  
M.Sc. IPSP

**Ziele**

Die Studierenden

- erschließen sich, aufbauend auf einer soliden physikalischen Grundbildung, ein Forschungsgebiet der physikalischen Institute;
- sind mit den Phänomenen, den theoretischen Konzepten und den mikroskopischen Theorien der Supraleitung vertraut;
- lernen typische Anwendungen der Supraleitung kennen
- wenden grundlegende Messmethoden fachgerecht an
- üben wissenschaftliches Präsentieren durch Vorstellung der Ergebnisse eines Praktikumsversuches

**Inhalt**

Students get to know special subjects related to the dissipative processes in superconductors (Vortices and their movement), including the discussion of experimental results and recently published papers. Main concepts of the microscopic theory are also presented and discussed. The students have to do laboratory work using usual research equipments like SQUID and AC magnetometry, Resistance and micro-Hall measurements, torque magnetometry, etc.

**Teilnahmevoraussetzungen** keine

**Literaturangabe**

- D. R. Tilley and J. Tilley: Superfluidity and Superconductivity
- M. Tinkham: Introduction to Superconductivity
- R. P. Huebener: Magnetic Flux Structures in Superconductors
- P. G. de Gennes: Superconductivity of Metals and Alloys
- W. Buckel und R. Kleiner, Supraleitung



**Vergabe von Leistungspunkten**

Leistungspunkte werden mit erfolgreichem Abschluss des Moduls vergeben.  
Näheres regelt die Prüfungsordnung.

**Prüfungsleistungen und -vorleistungen****Modulprüfung: Mündliche Prüfung 45 Min., mit Wichtung: 1**

*Prüfungsvorleistung: Bearbeiten von vier Praktikumsversuchen und erstellen von Praktikumsprotokollen  
(Bearbeitungsdauer: 3 Wochen).*

*Für die bewerteten Praktikumsprotokolle werden Punkte vergeben. Voraussetzung für die Zulassung zur Prüfung ist der Erwerb von 75% der möglichen Punkte.*

	Vorlesung "Superconductivity II" (2SWS)
	Praktikum "Superconductivity II" (2SWS)

## Master of Science International Physics Studies Program (ab WS 2023/24)

Akademischer Grad	Modulnummer	Modulform
Master of Science	12-PHY-MWPSUM3	Wahlpflicht

### Modultitel **Superconductivity and Magnetism Laboratory**

**Modultitel (englisch)** Superconductivity and Magnetism Laboratory

**Empfohlen für:** 1. Semester

**Verantwortlich** Leiter:in der Abteilung Supraleitung und Magnetismus

**Dauer** 1 Semester

**Modulturnus** jedes Wintersemester

**Lehrformen** • Praktikum "Superconductivity and Magnetism Laboratory" (7 SWS) = 105 h Präsenzzeit und 45 h Selbststudium = 150 h

**Arbeitsaufwand** 5 LP = 150 Arbeitsstunden (Workload)

**Verwendbarkeit** B.Sc. IPSP  
M.Sc. Physics  
M.Sc. Physik  
M.Sc. IPSP

**Ziele** Die Studierenden erhalten einen Überblick über typische Messmethoden der Charakterisierung von Supraleiter und magnetischen Materialien und vertiefen ihre Kenntnisse durch das Anwenden ausgewählter Methoden der Tieftemperatur Physik im Praktikum. Sie treten erstmals mit den Anforderungen der internationalen Forschung innerhalb der Festkörperphysik in Kontakt.

**Inhalt** - Probenpräparation, teilweise mit dem fokussierten Ionenstrahlmikroskop  
- Charakterisierung mit Methoden zum elektrischen Magnetowiderstand, SQUID und AC-Suszeptibilitätsmagnetometer, Micro-Hall-Sensoren, Kapazitätsmessungen und mit mikroskopischen Methoden wie Magnetkraft- und Rasterkraftmikroskopie, Andreev-Streuung, Rastertunnelmikroskopie

**Teilnahmevoraussetzungen** keine

**Literaturangabe** - Kittel: Introduction to Solid State Physics (Wiley) Kapiteln über Supraleitung bzw. Diamagnetismus-Paramagnetismus-Ferromagnetismus

**Vergabe von Leistungspunkten** Leistungspunkte werden mit erfolgreichem Abschluss des Moduls vergeben. Näheres regelt die Prüfungsordnung.

### Prüfungsleistungen und -vorleistungen

<b>Modulprüfung: Praktikumsleistung (1 Protokoll (Bearbeitungsdauer 3 Wochen)), mit Wichtung: 1</b>	
<i>Prüfungsvorleistung: Referat (45 Min.)</i>	
	Praktikum "Superconductivity and Magnetism Laboratory" (7SWS)

## Master of Science International Physics Studies Program (ab WS 2023/24)

Akademischer Grad	Modulnummer	Modulform
Master of Science	12-PHY-MWPSWM	Wahlpflicht

<b>Modultitel</b>	<b>Specialized Topics of Soft Matter Physics</b>
<b>Modultitel (englisch)</b>	Specialized Topics of Soft Matter Physics
<b>Empfohlen für:</b>	1. Semester
<b>Verantwortlich</b>	Direktor/in des Peter-Debye-Instituts für Physik der weichen Materie
<b>Dauer</b>	1 Semester
<b>Modulturnus</b>	mindestens jedes zweite Semester
<b>Lehrformen</b>	• Seminar mit Übungsanteil "Specialized Topics of Soft Matter Physics" (2 SWS) = 30 h Präsenzzeit und 120 h Selbststudium = 150 h
<b>Arbeitsaufwand</b>	5 LP = 150 Arbeitsstunden (Workload)
<b>Verwendbarkeit</b>	M Sc. Physics M Sc. International Physics Studies Program B.Sc. International Physics Studies Program (Honours)
<b>Ziele</b>	Nach aktiver Teilnahme am Modul sind die Studierenden in der Lage, zu fortgeschrittenen Themen der Physik der weichen Materie Literaturquellen zu erschließen und kritisch zu analysieren. Zudem können sich die Studierenden in ein aktuelles Forschungsthema einarbeiten und dieses in schriftlicher und mündlicher Form verständlich darstellen. Die Studierenden vertiefen so ihre Fähigkeiten in Recherche- und Präsentationstechniken, im Erstellen wissenschaftlicher Dokumente und in der strukturierten Darstellung komplexer wissenschaftlicher Zusammenhänge.
<b>Inhalt</b>	Das Seminar befasst sich mit einem speziellen aktuellen Forschungsgebiet der Physik der weichen Materie. Themen aus diesem Forschungsgebiet werden von den Studierenden in mündlichen, medial unterstützten Referaten präsentiert und ausführlich zur Diskussion gestellt. Anschließend werden die Themen in einer schriftlichen Ausarbeitung dargestellt, wobei explizit auf die Diskussionsergebnisse eingegangen werden soll.
<b>Teilnahmevoraussetzungen</b>	keine
<b>Literaturangabe</b>	R. Geroch: "Suggestions for giving talks" Weitere Hinweise zu Literaturangaben erfolgen in den Lehrveranstaltungen.
<b>Vergabe von Leistungspunkten</b>	Leistungspunkte werden mit erfolgreichem Abschluss des Moduls vergeben. Näheres regelt die Prüfungsordnung.

**Prüfungsleistungen und -vorleistungen**

<b>Modulprüfung: Projektarbeit: schriftliche Ausarbeitung (3 Wochen) und Präsentation (45 Min.), mit Wichtung: 1</b>	
	Seminar mit Übungsanteil "Specialized Topics of Soft Matter Physics" (2SWS)

## Master of Science International Physics Studies Program (ab WS 2023/24)

Akademischer Grad	Modulnummer	Modulform
Master of Science	12-PHY-MWPT1	Wahlpflicht

<b>Modultitel</b>	<b>Advanced Quantum Mechanics</b>
<b>Modultitel (englisch)</b>	Advanced Quantum Mechanics
<b>Empfohlen für:</b>	1. Semester
<b>Verantwortlich</b>	Leiter:in der Abteilung Quantenfeldtheorie und Gravitation
<b>Dauer</b>	1 Semester
<b>Modulturnus</b>	jedes Wintersemester
<b>Lehrformen</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Vorlesung "Advanced Quantum Mechanics" (4 SWS) = 60 h Präsenzzeit und 80 h Selbststudium = 140 h</li> <li>• Übung "Advanced Quantum Mechanics" (2 SWS) = 30 h Präsenzzeit und 130 h Selbststudium = 160 h</li> </ul>
<b>Arbeitsaufwand</b>	10 LP = 300 Arbeitsstunden (Workload)
<b>Verwendbarkeit</b>	B.Sc. IPSP M.Sc. IPSP M.Sc. Mathematical Physics M.Sc. Physics M.Sc. Physik
<b>Ziele</b>	Nach einer aktiven Teilnahme am Modul können die Studierenden: <ul style="list-style-type: none"> <li>- die grundlegenden Begriffe, Konzepte, Methoden und Ergebnisse der fortgeschrittenen Quantenmechanik mündlich und schriftlich darstellen und erläutern;</li> <li>- diese anwenden, um das Verhalten quantenmechanischer Systeme zu untersuchen und vorherzusagen;</li> <li>- einfache Modellprobleme selbstständig bearbeiten, lösen und ihr Vorgehen begründen</li> <li>- die erworbenen Kenntnisse auf neue Problemstellungen übertragen;</li> <li>- ihr Fachwissen anhand von Originalliteratur selbstständig erweitern</li> </ul>
<b>Inhalt</b>	Zustandsraum, Grundbegriffe der Quanteninformation, Symmetrie und Invarianz, identische Teilchen, Streutheorie, Näherungsmethoden für gebundene Zustände, (zeitabhängige und zeitunabhängige Störungstheorie, Variationsmethoden), relativistische Quantenmechanik
<b>Teilnahmevoraussetzungen</b>	keine
<b>Literaturangabe</b>	A. Galindo, P. Pascual: Quantum Mechanics 1 & 2, Springer TMP, 1991; A. Peres: Quantum Theory: Concepts and Methods, Kluwer 1998; F. Schwabl: Advanced Quantum Mechanics, Springer, 2005
<b>Vergabe von Leistungspunkten</b>	Leistungspunkte werden mit erfolgreichem Abschluss des Moduls vergeben. Näheres regelt die Prüfungsordnung.

**Prüfungsleistungen und -vorleistungen**

<b>Modulprüfung: Klausur 180 Min., mit Wichtung: 1</b>	
<i>Prüfungsvorleistung: Übungsaufgaben</i>	
	Vorlesung "Advanced Quantum Mechanics" (4SWS)
	Übung "Advanced Quantum Mechanics" (2SWS)

## Master of Science International Physics Studies Program (ab WS 2023/24)

Akademischer Grad	Modulnummer	Modulform
Master of Science	12-PHY-MWPT2	Wahlpflicht

<b>Modultitel</b>	<b>Advanced Statistical Physics</b>
<b>Modultitel (englisch)</b>	Advanced Statistical Physics
<b>Empfohlen für:</b>	1. Semester
<b>Verantwortlich</b>	Leiter:in der Abteilung Theorie der kondensierten Materie, Leiter:in der Abteilung Theorie der Elementarteilchen
<b>Dauer</b>	1 Semester
<b>Modulturnus</b>	jedes Sommersemester
<b>Lehrformen</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Vorlesung "Advanced Statistical Physics" (4 SWS) = 60 h Präsenzzeit und 80 h Selbststudium = 140 h</li> <li>• Übung "Advanced Statistical Physics" (2 SWS) = 30 h Präsenzzeit und 130 h Selbststudium = 160 h</li> </ul>
<b>Arbeitsaufwand</b>	10 LP = 300 Arbeitsstunden (Workload)
<b>Verwendbarkeit</b>	B.Sc. IPSP M.Sc. IPSP M.Sc. Mathematical Physics M.Sc. Physics M.Sc. Physik
<b>Ziele</b>	Nach einer aktiven Teilnahme am Modul können die Studierenden: <ul style="list-style-type: none"> <li>- die grundlegenden Begriffe, Konzepte, Methoden und Ergebnisse der fortgeschrittenen statistischen Physik mündlich und schriftlich darstellen und erläutern;</li> <li>- diese anwenden, um das Verhalten von Systemen mit vielen Freiheitsgraden zu untersuchen und vorherzusagen;</li> <li>- einfache Modellprobleme selbstständig bearbeiten, lösen und ihr Vorgehen begründen</li> <li>- die erworbenen Kenntnisse auf neue Problemstellungen übertragen;</li> <li>- ihr Fachwissen anhand von Originalliteratur selbstständig erweitern</li> </ul>
<b>Inhalt</b>	Begriffliche Vertiefung und relevante Beispiele der Gleichgewichts-Statistischen Mechanik, kritische Phänomene und Renormierungsgruppe, Thermodynamik und Statistische Mechanik des Nichtgleichgewichts, Einführung in stochastische Prozesse und Algorithmen
<b>Teilnahmevoraussetzungen</b>	keine
<b>Literaturangabe</b>	Mehran Kardar: Statistical Physics of Particles; Statistical Physics of Fields, (Cambridge)
<b>Vergabe von Leistungspunkten</b>	Leistungspunkte werden mit erfolgreichem Abschluss des Moduls vergeben. Näheres regelt die Prüfungsordnung.

**Prüfungsleistungen und -vorleistungen**

<b>Modulprüfung: Klausur 180 Min., mit Wichtung: 1</b>	
<i>Prüfungsvorleistung: Übungsaufgaben</i>	
	Vorlesung "Advanced Statistical Physics" (4SWS)
	Übung "Advanced Statistical Physics" (2SWS)



## Master of Science International Physics Studies Program (ab WS 2023/24)

Akademischer Grad	Modulnummer	Modulform
Master of Science	12-PHY-MWPTET4	Wahlpflicht

<b>Modultitel</b>	<b>Relativistic Quantum Field Theory</b>
<b>Modultitel (englisch)</b>	Relativistic Quantum Field Theory
<b>Empfohlen für:</b>	1. Semester
<b>Verantwortlich</b>	Leiter:in der Abteilung Theorie der Elementarteilchen
<b>Dauer</b>	1 Semester
<b>Modulturnus</b>	mindestens einmal alle 2 Jahre
<b>Lehrformen</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Vorlesung "Relativistic Quantum Field Theory" (4 SWS) = 60 h Präsenzzeit und 80 h Selbststudium = 140 h</li> <li>• Übung "Relativistic Quantum Field Theory" (2 SWS) = 30 h Präsenzzeit und 130 h Selbststudium = 160 h</li> </ul>
<b>Arbeitsaufwand</b>	10 LP = 300 Arbeitsstunden (Workload)
<b>Verwendbarkeit</b>	B.Sc. IPSP M.Sc. IPSP M.Sc. Mathematical Physics M.Sc. Physics M.Sc. Physik
<b>Ziele</b>	Nach einer aktiven Teilnahme am Modul können die Studierenden: <ul style="list-style-type: none"> <li>- die grundlegenden Begriffe, Konzepte und Methoden der relativistischen Quantenfeldtheorie mündlich und schriftlich darstellen und erläutern;</li> <li>- diese anwenden, um das Verhalten einfacher feldtheoretischer Systeme zu untersuchen und vorherzusagen;</li> <li>- einfache Modellprobleme selbstständig bearbeiten, lösen und ihr Vorgehen begründen.</li> </ul>
<b>Inhalt</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Freie quantisierte Feldtheorien</li> <li>- Fock-Raum, Darstellungen der Poincaré-Gruppe</li> <li>- Streumatrix, Feynman-Regeln</li> <li>- Störungsentwicklungen, Grundzüge der Renormierungstheorie</li> <li>- Eichfeldtheorien</li> </ul>
<b>Teilnahmevoraussetzungen</b>	keine
<b>Literaturangabe</b>	M. Srednicki, Quantum Field Theory, Cambridge University Press (2007) C. Itzykson, J.B. Zuber, Quantum Field Theory, Dover Books on Physics (2006) S. Weinberg, The Quantum Theory of Fields, Cambridge University Press (1995) J. Zinn-Justin, Quantum field theory and critical phenomena, Oxford University Press, (1996)
<b>Vergabe von Leistungspunkten</b>	Leistungspunkte werden mit erfolgreichem Abschluss des Moduls vergeben. Näheres regelt die Prüfungsordnung.

**Prüfungsleistungen und -vorleistungen****Modulprüfung: Klausur 180 Min., mit Wichtung: 1**

*Prüfungsvorleistung: Regelmäßig ausgegebene Übungsaufgaben zu Fragen aus dem Bereich des Modulinhalts. Für die Lösung werden Punkte vergeben. Voraussetzung für die Zulassung zur Prüfung ist der Erwerb von 50% der möglichen Punkte des gesamten Semesters.*

Vorlesung "Relativistic Quantum Field Theory" (4SWS)

Übung "Relativistic Quantum Field Theory" (2SWS)

## Master of Science International Physics Studies Program (ab WS 2023/24)

Akademischer Grad	Modulnummer	Modulform
Master of Science	12-PHY-MWPTKM3	Wahlpflicht

<b>Modultitel</b>	<b>Theory of Soft and Bio Matter</b>
<b>Modultitel (englisch)</b>	Theory of Soft and Bio Matter
<b>Empfohlen für:</b>	1. Semester
<b>Verantwortlich</b>	Leiter:in der Abteilung Theorie der kondensierten Materie
<b>Dauer</b>	1 Semester
<b>Modulturnus</b>	mindestens einmal alle 2 Jahre
<b>Lehrformen</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Vorlesung "Theory of Soft and Bio Matter" (4 SWS) = 60 h Präsenzzeit und 80 h Selbststudium = 140 h</li> <li>• Übung "Theory of Soft and Bio Matter" (2 SWS) = 30 h Präsenzzeit und 130 h Selbststudium = 160 h</li> </ul>
<b>Arbeitsaufwand</b>	10 LP = 300 Arbeitsstunden (Workload)
<b>Verwendbarkeit</b>	B.Sc. IPSP M.Sc. IPSP M.Sc. Mathematical Physics M.Sc. Physics M.Sc. Physik
<b>Ziele</b>	Die Studierenden lernen wesentliche Phänomene, Konzepte und Methoden der Theorie der weichen kondensierten Materie und ihre Bedeutung für die quantitative Beschreibung biologischer Materie kennen. Darüber hinaus soll generell die interdisziplinäre Anwendung von Methoden der theoretischen Physik geübt werden.
<b>Inhalt</b>	Wesentliche Inhalte sind: <ul style="list-style-type: none"> <li>- Begriffe aus der Statistischen Physik und Thermodynamik für Vielteilchensysteme, Fluktuationen und Response</li> <li>- Dichtefunktionaltheorien, Feldtheorien, Funktionalintegrale</li> <li>- Perturbative und nichtperturbative Methoden</li> <li>- Modellsysteme (z.B. Kolloide, Polymere, Membranen, granulare Materie)</li> <li>- Biologische Systeme (z.B. Zell-/Gewebestruktur und -mechanik)</li> </ul> Die Lehrveranstaltungen werden in englischer Sprache gehalten. Studien- und Prüfungsleistungen sind in englischer Sprache zu erbringen.
<b>Teilnahmevoraussetzungen</b>	Grundkenntnisse aus der Thermodynamik und Statistischen Mechanik empfohlen
<b>Literaturangabe</b>	P. M. Chaikin and T. C. Lubensky, Principles of Condensed Matter Physics, Cambridge 1995; P.-G. de Gennes, Scaling Concepts in Polymer Physics, Cornell 1979; M. E. Cates, M. R. Evans, Soft and Fragile Matter: Nonequilibrium Dynamics, Metastability and Flow, IOP 2000

**Vergabe von Leistungspunkten**

Leistungspunkte werden mit erfolgreichem Abschluss des Moduls vergeben.  
Näheres regelt die Prüfungsordnung.

**Prüfungsleistungen und -vorleistungen**

**Modulprüfung: Klausur 120 Min., mit Wichtung: 1**

*Prüfungsvorleistung: Regelmäßig ausgegebene Übungsaufgaben aus dem Bereich des Modulinhalts. Für die Lösung werden Punkte vergeben. Voraussetzung für die Zulassung ist der Erwerb von 50% der möglichen Punkte des gesamten Semesters.*

Vorlesung "Theory of Soft and Bio Matter" (4SWS)

Übung "Theory of Soft and Bio Matter" (2SWS)

## Master of Science International Physics Studies Program (ab WS 2023/24)

Akademischer Grad	Modulnummer	Modulform
Master of Science	12-PHY-MWPTKM4	Wahlpflicht

<b>Modultitel</b>	<b>Practical Course: Condensed Matter Theory</b>
<b>Modultitel (englisch)</b>	Practical Course: Condensed Matter Theory
<b>Empfohlen für:</b>	1. Semester
<b>Verantwortlich</b>	Leiter:in der Abteilung Theorie der kondensierten Materie
<b>Dauer</b>	1 Semester
<b>Modulturnus</b>	jedes Semester
<b>Lehrformen</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Praktikum "Practical Course: Condensed Matter Theory" (2 SWS) = 30 h Präsenzzeit und 120 h Selbststudium = 150 h</li> </ul>
<b>Arbeitsaufwand</b>	5 LP = 150 Arbeitsstunden (Workload)
<b>Verwendbarkeit</b>	B.Sc. IPSP M.Sc. IPSP M.Sc. Mathematical Physics M.Sc. Physics M.Sc. Physik
<b>Ziele</b>	Nach einer aktiven Teilnahme am Modul können die Studierenden: <ul style="list-style-type: none"> <li>- sich in konzeptionelle und methodische Techniken der Theorie kondensierter Materie einarbeiten,</li> <li>- Grundbegriffe der Literaturrecherche</li> <li>- einfache Modellprobleme selbstständig bearbeiten, lösen und ihr Vorgehen begründen.</li> </ul>
<b>Inhalt</b>	Die Inhalte des Moduls werden den Interessen und dem Wissenstand des/der Studierenden angepasst. Folgende Themenbereiche stehen zum Beispiel dem/der Studierenden zur Auswahl: Weiche Materie, biologische Physik, stochastische Dynamik, statistische Physik des Nichtgleichgewichtes, Netzwerke  Die Lehrveranstaltungen werden in englischer Sprache gehalten. Studien- und Prüfungsleistungen sind in englischer Sprache zu erbringen.
<b>Teilnahmevoraussetzungen</b>	keine
<b>Literaturangabe</b>	Originalliteratur je nach Thema
<b>Vergabe von Leistungspunkten</b>	Leistungspunkte werden mit erfolgreichem Abschluss des Moduls vergeben. Näheres regelt die Prüfungsordnung.

**Prüfungsleistungen und -vorleistungen**

<b>Modulprüfung: Projektarbeit (Bearbeitungszeit 4 Wo., Präsentation 45 Min.), mit Wichtung: 1</b>	
	Praktikum "Practical Course: Condensed Matter Theory" (2SWS)

## Master of Science International Physics Studies Program (ab WS 2023/24)

Akademischer Grad	Modulnummer	Modulform
Master of Science	12-PHY-MWPTKM5	Wahlpflicht

### Modultitel **Practical Course: Quantum Statistical Physics**

**Modultitel (englisch)** Practical Course: Quantum Statistical Physics

**Empfohlen für:** 1. Semester

**Verantwortlich** Leiter:in der Abteilung Quantenstatistische Physik

**Dauer** 1 Semester

**Modulturnus** jedes Semester

**Lehrformen** • Praktikum "Practical Course: Quantum Statistical Physics" (2 SWS) = 30 h  
Präsenzzeit und 120 h Selbststudium = 150 h

**Arbeitsaufwand** 5 LP = 150 Arbeitsstunden (Workload)

**Verwendbarkeit** • B.Sc. IPSP  
• M.Sc. IPSP  
• M.Sc. Mathematical Physics  
• M.Sc. Physics  
• M.Sc. Physik

**Ziele** Parallel zu einem der Module "Quantenphysik von Nanostrukturen" oder "Quantum Field Theory of Many-Particle Systems" soll an Teilproblemen aktueller Forschungsprojekte selbständiges theoretisches Arbeiten (Einübung analytischer und numerischer Techniken, Literaturrecherche, Modellbildung, Problemlösung etc.) unter Anleitung geübt werden. Die Ergebnisse sollen in der Arbeitsgruppe diskutiert und vorgetragen sowie in einer schriftlichen Ausarbeitung dargestellt werden.

**Inhalt** Die Inhalte des Moduls werden den Interessen und dem Wissenstand des/der Studierenden angepasst. Folgende Themenbereiche stehen zum Beispiel zur Auswahl: mesoskopische Physik, Quantenfeldtheorie der Vielteilchensysteme

**Teilnahmevoraussetzungen** keine

**Literaturangabe** Hinweise zu Literaturangaben erfolgen in den Lehrveranstaltungen.

**Vergabe von Leistungspunkten** Leistungspunkte werden mit erfolgreichem Abschluss der Module vergeben. Näheres regelt die Prüfungsordnung

### Prüfungsleistungen und -vorleistungen

<b>Modulprüfung: Projektarbeit (Bearbeitungszeit 4 Wo., Präsentation 45 Min.), mit Wichtung: 1</b>	
	Praktikum "Practical Course: Quantum Statistical Physics" (2SWS)

## Master of Science International Physics Studies Program (ab WS 2023/24)

Akademischer Grad	Modulnummer	Modulform
Master of Science	12-PHY-MWPTKS1	Wahlpflicht

### Modultitel **Stochastic Processes in Physics, Biology and Earth Sciences**

**Modultitel (englisch)** Stochastic Processes in Physics, Biology and Earth Sciences

**Empfohlen für:** 1. Semester

**Verantwortlich** Leiter:in der Abteilung Komplexe Systeme

**Dauer** 1 Semester

**Modulturnus** alle 2 Jahre

**Lehrformen**

- Vorlesung "Stochastic Processes in Physics, Biology and Earth Sciences" (4 SWS) = 60 h Präsenzzeit und 80 h Selbststudium = 140 h
- Übung "Stochastic Processes in Physics, Biology and Earth Sciences" (2 SWS) = 30 h Präsenzzeit und 130 h Selbststudium = 160 h

**Arbeitsaufwand** 10 LP = 300 Arbeitsstunden (Workload)

**Verwendbarkeit**

- B.Sc. IPSP
- M.Sc. Physics
- M.Sc. Physik
- M.Sc. Mathematical Physics
- M.Sc. IPSP

**Ziele** Die Vorlesung soll eine Einführung in die Grundlagen der Theorie stochastischer Prozesse aus der Sicht der Physik geben und zum selbständigen Studium weiterführender Literatur und von Originalarbeiten befähigen. Damit soll das Verständnis von stochastischen Phänomenen aus der Physik und aus anderen Disziplinen befördert werden. Die Methoden werden eingeführt und motiviert in Hinblick auf konkrete Anwendungen.

**Inhalt**

- Charakterisierung zufälliger Variabler und stochastischer Prozesse (Grenzwertsätze, große Abweichungen), Anwendungen in der Statistischen Physik
- Markov-Prozesse (Chapman-Kolmogorov-Gleichung, Mastergleichung, Kramer-Moyal-Entwicklung, Fokker-Planck-Gleichung), Anwendung auf Diffusionsprozesse, granulare Gasen und ASEPs, Fluktuationsrelationen nach Lebowitz und Spohn
- Kontinuierliche stochastische Prozesse (Gauß-Prozesse, Ornstein-Uhlenbeck-Prozess, weißes Rauschen, Wiener-Prozess), Diskussion von Brownscher Bewegung und normaler Diffusion
- Lévy-Prozesse (stabile Wahrscheinlichkeitsverteilungen), Ursachen von anomaler Diffusion
- Langevin- und Fokker-Planck-Gleichungen (stochastische Differentialgleichungen und stochastische Integrale, Ito vs. Stratonovich), Anwendungen in der Transporttheorie und der Stochastischen Thermodynamik: Fluktuationstheoreme, Jarzynski Gleichung, Crooks Fluktuationstheorem.

Hinweis zur Prüfung: Die mündliche Prüfung besteht aus einer Präsentation (30 Min.) mit Diskussion (15 Min.).



**Teilnahmevoraussetzungen** keine

**Literaturangabe**

- H. Haken: Synergetics. An Introduction (Springer, 1983)
- C.W. Gardiner; Handbook of Stochastic Methods (Springer, 1985)
- aktuelle Beiträge aus Sommerschulen und Fachzeitschriften

**Vergabe von Leistungspunkten** Leistungspunkte werden mit erfolgreichem Abschluss des Moduls vergeben. Näheres regelt die Prüfungsordnung.

### Prüfungsleistungen und -vorleistungen

Modulprüfung: Mündliche Prüfung 45 Min., mit Wichtung: 1	
	Vorlesung "Stochastic Processes in Physics, Biology and Earth Sciences" (4SWS)
	Übung "Stochastic Processes in Physics, Biology and Earth Sciences" (2SWS)

## Master of Science International Physics Studies Program (ab WS 2023/24)

Akademischer Grad	Modulnummer	Modulform
Master of Science	12-PHY-MWPTKS2	Wahlpflicht

### Modultitel **Non-linear Dynamics and Pattern Formation**

**Modultitel (englisch)** Non-linear Dynamics and Pattern Formation

**Empfohlen für:** 1. Semester

**Verantwortlich** Leiter:in der Abteilung Komplexe Systeme

**Dauer** 1 Semester

**Modulturnus** alle 2 Jahre

**Lehrformen**

- Vorlesung "Non-linear Dynamics and Pattern Formation" (4 SWS) = 60 h Präsenzzeit und 80 h Selbststudium = 140 h
- Übung "Non-linear Dynamics and Pattern Formation" (2 SWS) = 30 h Präsenzzeit und 130 h Selbststudium = 160 h

**Arbeitsaufwand** 10 LP = 300 Arbeitsstunden (Workload)

**Verwendbarkeit**

- B.Sc. IPSP
- M.Sc. Physics
- M.Sc. Physik
- M.Sc. IPSP

**Ziele**

Die Vorlesung soll eine Einführung in die grundlegenden Konzepte aus der Theorie nichtlinearer dynamischer Systeme und der Strukturbildung geben und zum selbständigen Studium weiterführender Literatur und von Originalarbeiten befähigen. Damit soll ein wenigstens qualitatives Verständnis einer Vielzahl von nichtlinearen Phänomenen in der Physik und anderen Disziplinen befördert werden. Zunächst werden Systeme mit wenigen Freiheitsgraden diskutiert. Danach werden Methoden zur Beschreibung von Systemen mit (unendlich) vielen Freiheitsgraden, insbesondere von räumlich ausgedehnten Systemen und von Systemen mit zeitlicher Verzögerung vorgestellt.

Zu allen vorgestellten Konzepten werden experimentelle Anwendungen diskutiert und - so weit wie möglich - auch in der Vorlesung vorgeführt. Die Studierenden erwerben dabei die Kenntnisse, um Messdaten an eigenen Experimenten zu erfassen, zum Experiment korrespondierende numerische Untersuchungen durchzuführen und ihre Daten auszuwerten.

**Inhalt**

- Dynamische Systeme mit wenigen Freiheitsgraden (Charakterisierung von Flüssen, Klassifikation singulärer Punkte, periodische Lösungen, Bifurkationen, Normalformen, zentrale Mannigfaltigkeiten, strukturelle Stabilität, Katastrophen, Chaos in Hamiltonschen und dissipativen Systemen)
- Strukturbildung in angetriebenen Systemen (Multiskalenanalyse, Amplitudengleichung für die Rayleigh-Benard-Instabilität, phänomenologische Amplitudengleichungen, Eckhaus- und Benjamin-Feir-Instabilitäten, Reaktions-Diffusions-Systeme, Turing-Instabilitäten)
- Weiterführende Themen werden in Absprache mit den Studierenden diskutiert.

**Teilnahmevoraussetzungen** keine

**Literaturangabe**

G. Nicolis: Introduction to Nonlinear Science (Cambridge UP, 1995)  
E. Ott: Chaos in Dynamical Systems (Cambridge UP, 2002)  
M. Cross, H. Greenside: Pattern Formation and Dynamics (Cambridge UP, 2009)

**Vergabe von Leistungspunkten**

Leistungspunkte werden mit erfolgreichem Abschluss des Moduls vergeben.  
Näheres regelt die Prüfungsordnung.

**Prüfungsleistungen und -vorleistungen**

Modulprüfung: Mündliche Prüfung 45 Min., mit Wichtung: 1	
	Vorlesung "Non-linear Dynamics and Pattern Formation" (4SWS)
	Übung "Non-linear Dynamics and Pattern Formation" (2SWS)

## Master of Science International Physics Studies Program (ab WS 2023/24)

Akademischer Grad	Modulnummer	Modulform
Master of Science	12-PHY-MWPTKS3	Wahlpflicht

### Modultitel **Practical Course: Complex Systems**

**Modultitel (englisch)** Practical Course: Complex Systems

**Empfohlen für:** 1. Semester

**Verantwortlich** Leiter:in der Abteilung Theorie der kondensierten Materie

**Dauer** 1 Semester

**Modulturnus** jedes Semester

**Lehrformen** • Praktikum "Practical Course: Complex Systems" (2 SWS) = 30 h Präsenzzeit und 120 h Selbststudium = 150 h

**Arbeitsaufwand** 5 LP = 150 Arbeitsstunden (Workload)

**Verwendbarkeit**

- B.Sc. IPSP
- M.Sc. Physics
- M.Sc. Physik
- M.Sc. IPSP

**Ziele** Parallel zu einem der Module "Stochastische Prozesse" oder "Nichtlineare Dynamik und Strukturbildung" soll an Teilproblemen aktueller Forschungsprojekte selbstständiges theoretisches Arbeiten (Einübung analytischer und numerischer Techniken, Literaturrecherche, Modellbildung, Problemlösung etc.) unter Anleitung geübt werden. Die Ergebnisse sollen in der Arbeitsgruppe diskutiert und vorgetragen sowie in einer schriftlichen Ausarbeitung dargestellt werden.

**Inhalt** Die Inhalte des Moduls werden den Interessen und dem Wissenstand des/der Studierenden angepasst. Folgende Themenbereiche stehen zum Beispiel zur Auswahl: Phasenübergänge fern vom Gleichgewicht, anomaler Transport, Kippunkte und Instabilitäten in biologischen Systemen oder in Klimamodellen.

**Teilnahmevoraussetzungen** keine

**Literaturangabe** Hinweise zu Literaturangaben erfolgen in den Lehrveranstaltungen.

**Vergabe von Leistungspunkten** Leistungspunkte werden mit erfolgreichem Abschluss des Moduls vergeben. Näheres regelt die Prüfungsordnung.

### Prüfungsleistungen und -vorleistungen

<b>Modulprüfung: Projektarbeit (Bearbeitungszeit 4 Wo., Präsentation 45 Min.), mit Wichtung: 1</b>	
	Praktikum "Practical Course: Complex Systems" (2SWS)

## Master of Science International Physics Studies Program (ab WS 2023/24)

Akademischer Grad	Modulnummer	Modulform
Master of Science	12-PHY-MWPXT1	Wahlpflicht

### Modultitel **Group Theory and Its Applications in Physics**

**Modultitel (englisch)** Group Theory and Its Applications in Physics

**Empfohlen für:** 1. Semester

**Verantwortlich** Leiter:in der Abteilung Quantenfeldtheorie und Gravitation

**Dauer** 1 Semester

**Modulturnus** mindestens einmal alle 2 Jahre

**Lehrformen**

- Vorlesung "Group Theory and Its Applications in Physics" (4 SWS) = 60 h Präsenzzeit und 80 h Selbststudium = 140 h
- Übung "Group Theory and Its Applications in Physics" (2 SWS) = 30 h Präsenzzeit und 130 h Selbststudium = 160 h

**Arbeitsaufwand** 10 LP = 300 Arbeitsstunden (Workload)

**Verwendbarkeit**

B.Sc. IPSP  
M.Sc. IPSP  
M.Sc. Mathematical Physics  
M.Sc. Physics  
M.Sc. Physik

**Ziele**

Nach einer aktiven Teilnahme am Modul können die Studierenden:

- die grundlegenden Begriffe, Konzepte, Methoden der Gruppentheorie mündlich und schriftlich darstellen und erläutern
- diese anwenden bei der Beschreibung und Ausnutzung von Symmetrien in verschiedenen Bereichen der Physik;
- einfache Modellprobleme selbstständig bearbeiten, lösen und ihr Vorgehen begründen.

**Inhalt**

- Grundbegriffe der Gruppentheorie: Gruppen, Homomorphismen, Wirkungen
- Endliche Gruppen, Molekülsymmetrien, Punktgruppen und Kristallgitter
- Darstellungstheorie von endlichen und kompakten Gruppen (bis zum Satz von Peter-Weyl)
- Lie-Gruppen und Lie-Algebren (nur Matrix-Gruppen)
- Drehgruppe und ihre Darstellungen (einschließlich Spinordarstellungen)
- Darstellungen der Permutationsgruppe
- Anwendungen in der Quantentheorie: Erster Wignerscher Satz, Drehimpuls und Spin, Clebsch-Gordan, Auswahlregeln, identische Teilchen, NMR-Spektren, Kernmodelle, Multipletts von Elementarteilchen
- Einiges zur Darstellungstheorie nichtkompakter Gruppen: Lorentzgruppe und Poincaregruppe (optional: Induzierte Darstellungen, semidirekte Produkte, Wignersche Klassifikation der Elementarteilchen)

Die Lehrveranstaltungen werden in englischer Sprache gehalten. Studien- und Prüfungsleistungen sind in englischer Sprache zu erbringen.

**Teilnahmevoraussetzungen** keine

**Literaturangabe** A. O. Barut, R. Raczka: Theory of group representations and applications, PWN Warsaw, 1977  
M. Hamermesh: Group theory and its application to physical problems, Addison-Wesley Reading-London, 1962  
S. Sternberg: Group theory and physics, Cambridge University Press, 1994

**Vergabe von Leistungspunkten** Leistungspunkte werden mit erfolgreichem Abschluss des Moduls vergeben. Näheres regelt die Prüfungsordnung.

### **Prüfungsleistungen und -vorleistungen**

Modulprüfung: Klausur 180 Min., mit Wichtung: 1	
	Vorlesung "Group Theory and Its Applications in Physics" (4SWS)
	Übung "Group Theory and Its Applications in Physics" (2SWS)

## Master of Science International Physics Studies Program (ab WS 2023/24)

Akademischer Grad	Modulnummer	Modulform
Master of Science	12-PHY-MWPXT2	Wahlpflicht

### Modultitel Particle Physics

**Modultitel (englisch)** Particle Physics

**Empfohlen für:** 1. Semester

**Verantwortlich** Direktor:in Felix-Bloch-Institut für Festkörperphysik

**Dauer** 1 Semester

**Modulturnus** jedes Wintersemester

**Lehrformen**

- Vorlesung "Particle Physics" (2 SWS) = 30 h Präsenzzeit und 45 h Selbststudium = 75 h
- Übung "Particle Physics" (1 SWS) = 15 h Präsenzzeit und 60 h Selbststudium = 75 h

**Arbeitsaufwand** 5 LP = 150 Arbeitsstunden (Workload)

**Verwendbarkeit**

B.Sc. IPSP  
M.Sc. Physics  
M.Sc. Physik  
M.Sc. IPSP

**Ziele**

Die Studierenden

- lernen die Konzepte und das Standardmodell der modernen Teilchenphysik kennen und werden eingeführt in
- vereinheitlichende Theorien und den Ursprung des Universums.

**Inhalt**

- Das Quark-Modell und die Bausteine der Welt
- Symmetrien und Erhaltungssätze
- Phänomenologie der schwachen Wechselwirkung: Neutrinophysik, Paritätsverletzung, CP-Verletzung
- Eichtheorien und das Standardmodell der Teilchenphysik: die elektroschwache Theorie
- Quantenchromodynamik und die starke Wechselwirkung
- Großvereinheitlichte Theorien: Protonzerfall, Neutrino-Oszillationen
- Messmethoden und Detektoren der Teilchenphysik

**Teilnahmevoraussetzungen** keine

**Literaturangabe**

Ch. Berger, Elementarteilchenphysik, Springer, 2006.  
M. Thomson, Modern Particle Physics, Cambridge University Press, 2018.  
D. Griffiths, Introduction to Elementary Particles, Wiley-VCH, 2008.

**Vergabe von Leistungspunkten** Leistungspunkte werden mit erfolgreichem Abschluss des Moduls vergeben. Näheres regelt die Prüfungsordnung.

**Prüfungsleistungen und -vorleistungen****Modulprüfung: Klausur 120 Min., mit Wichtung: 1**

*Prüfungsvorleistung: Lösung von wöchentlich ausgegebenen Übungsaufgaben zum Modulinhalt, für die Punkte vergeben werden. Voraussetzung für die Zulassung zur Prüfung ist der Erwerb von 50% der möglichen Punkte des Semesters.*

	Vorlesung "Particle Physics" (2SWS)
	Übung "Particle Physics" (1SWS)