

# Modulhandbuch

## Physik (M. Sc.)

Wintersemester 2017/18

KIT Campus Süd - Fakultät für Physik



## Modulhandbuch für den Masterstudiengang Physik

(Stand: 5. September 2017)

<b>Qualifikationsziele</b> .....	3
<b>Studienplan für den Masterstudiengang Physik</b> .....	6
<b>Übersicht über die einzelnen Module</b> .....	19
<b>Modul:</b> Hauptseminar .....	20
<b>Modul:</b> Physikalisches Fortgeschrittenenpraktikum für Masterstudenten .....	21
<b>Modul:</b> Elektronische Eigenschaften von Festkörpern I .....	22
<b>Modul:</b> Quantum Machines: Design and Implementation in solid state devices .....	23
<b>Modul:</b> Elektronenmikroskopie II .....	24
<b>Modul:</b> Beschleunigerphysik II: Synchrotronstrahlungsquellen .....	25
<b>Modul:</b> Modern X-ray Physics I: Coherent X-ray Imaging and Scattering .....	26
<b>Modul:</b> Modern X-ray Physics II: Condensed Matter Physics with Synchrotron Radiation .....	27
<b>Modul:</b> Grundlagen der Nanotechnologie I .....	28
<b>Modul:</b> Supraleiter-Nanostrukturen .....	29
<b>Modul:</b> Nanomagnetism, Quantummagnetism and Spin Bath Physics .....	30
<b>Modul:</b> Nano-Optics .....	31
<b>Modul:</b> Elektronenoptik .....	32
<b>Modul:</b> Quantum Optics .....	33
<b>Modul:</b> Teilchenphysik I .....	34
<b>Modul:</b> Teilchenphysik II: Flavourphysik .....	35
<b>Modul:</b> Elektronik für Physiker .....	36
<b>Modul:</b> Analogelektronik .....	37
<b>Modul:</b> Digitalelektronik .....	38
<b>Modul:</b> Detektoren für Teilchen- und Astroteilchenphysik .....	39
<b>Modul:</b> Astroteilchenphysik I: Dunkle Materie .....	40
<b>Modul:</b> Astroteilchenphysik II: Kosmische Strahlung .....	41
<b>Modul:</b> Einführung in die Kosmologie .....	42
<b>Modul:</b> Neutrinophysik – theoretische Aspekte .....	43
<b>Modul:</b> Allgemeine Relativitätstheorie .....	44
<b>Modul:</b> Einführung in die Theoretische Teilchenphysik .....	45
<b>Modul:</b> Theoretische Teilchenphysik II .....	46
<b>Modul:</b> Einführung in die Flavourphysik .....	47
<b>Modul:</b> Theorie der Kondensierten Materie I .....	48
<b>Modul:</b> Field Theories of Condensed Matter .....	49
<b>Modul:</b> Theoretische Molekulare Biophysik .....	50

# Masterstudiengang Physik

Das Karlsruher Institut für Technologie (KIT) hat sich im Rahmen der Umsetzung des Bologna-Prozesses zum Aufbau eines Europäischen Hochschulraumes zum Ziel gesetzt, dass am Abschluss der Studierendenausbildung am KIT in der Regel der Mastergrad steht. Die am KIT angebotenen Bachelor- und Masterstudiengänge werden daher als Gesamtkonzept mit konsekutivem Curriculum angesehen. Der Masterstudiengang Physik baut somit auf dem Bachelorstudiengang Physik auf.

Das Fach Physik gehört zu den klassischen Naturwissenschaften. Ein Studium der Physik ist zunächst auf eine wissenschaftliche Tätigkeit als Physiker/in hin ausgerichtet, die an universitären und außeruniversitären Forschungseinrichtungen und in der Industrie durchgeführt wird. In Bezug auf die Wissenschaft stellt das Masterstudium der Physik am KIT unmittelbar den Kontakt zum primären Arbeitsfeld dar. Dies wird im Studium durch fast ausschließlich forschungsbezogene Vorlesungsinhalte zu aktuellen Forschungsthemen, sowie durch die Masterarbeit sichergestellt. Das Berufsfeld für Physiker/innen ist jedoch nicht auf naturwissenschaftliche Forschung beschränkt, sondern Physiker/innen werden in der Gesellschaft breit eingesetzt. Dies ist auf die zentrale Kompetenz zurückzuführen, dass in der Physik Problemstellungen analysiert, modelliert und nach wissenschaftlichen Standards gelöst werden – eine Fähigkeit, die breit einsetzbar ist und die im Vordergrund der Ausbildung steht.

Der konsekutive Masterstudiengang Physik hat – unter Beibehaltung einer großen fachlichen Breite – einen stark vertiefenden und profilbildenden Charakter. Dies wird durch vielfältige Wahlmöglichkeiten im Bereich der physikalischen Schwerpunkt-, Ergänzungs- und Nebenfächer ermöglicht. Von zentraler Bedeutung ist auch die Masterarbeit, die durch eine Einführung in das selbstständige wissenschaftliche Arbeiten und eine Spezialisierungsphase vorbereitet wird. Das Masterstudium kann weitgehend nach individuellen Neigungen und Fähigkeiten ausgerichtet werden.

Die Anforderungen des Masterstudienganges Physik setzen eine solide physikalische Grundausbildung voraus, wie sie im Rahmen eines Bachelorstudiums Physik erworben wird. Fehlende Grundlagen können nur in freiwilligen Zusatzstudien erworben werden. Demzufolge haben sich die Studiendekane des Landes Baden-Württemberg auf Anforderungen für Inhalt und Umfang eines Bachelorstudienganges Physik geeinigt und die KIT-Fakultät für Physik hat eine entsprechende Zugangssatzung für den Masterstudiengang erlassen.

## Qualifikationsziele

### Qualifikationsziele des Studienganges

Die Absolvent/inn/en des Masterstudienganges Physik kennen die wissenschaftlichen Grundlagen der experimentellen und theoretischen Physik und haben im Schwerpunkt-, Ergänzungs- und Physikalischen Nebenfach ihre Kenntnisse auf den aktuellen wissenschaftlichen Stand vertieft. Sie besitzen weiterführende Kenntnisse in einem aus einem Fächerkanon wählbaren nichtphysikalischen Wahlpflichtfach. Sie verfügen über die Fähigkeit, die vertieften Konzepte der theoretischen bzw. experimentellen Physik auf forschungsnahe Probleme anzuwenden und nach Lösungsstrategien zu suchen. Im experimentellen Bereich haben sie die Fähigkeit, aus gemessenen Daten auf Zusammenhänge zu schließen, Modelle zu formulieren und Vorhersagen abzuleiten. Absolvent/inn/en mit Vertiefung in der theoretischen Physik haben die Kenntnisse komplexe Rechnungen durchzuführen und die Resultate im Rahmen der betrachteten Theorie zu interpretieren. Auf der Grundlage des erworbenen Wissens ordnen sie Sachverhalte und Themengebiete fachgerecht ein. Die Absolvent/inn/en beherrschen außerdem das Zusammenfassen von wissenschaftlichen Ergebnissen und Forschungsergebnissen in Schrift und Wort und deren didaktisch ansprechende Präsentation. Der erfolgreiche Abschluss des Studienganges ermöglicht eine Tätigkeit in verschiedenen beruflichen Bereichen, wie der universitären und industriellen Forschung und Entwicklung, der Datenanalyse und Optimierung von Prozessen sowie der Programmierung und Hardwareanwendung. Außerdem haben die Absolvent/inn/en die Voraussetzungen erworben, um ein Promotionsstudium in Physik zu beginnen.

Am KIT wird besonderer Wert auf eine forschungsnahe Lehre gelegt. Im Masterbereich haben die Studierenden eine große Wahlmöglichkeit, sich nach Ihren Interessen zu spezialisieren und engen Kontakt zur Forschung im Hochschulbereich sowie im Großforschungsbereich zu gelangen.

Die Kombination des Bachelor- und Masterstudienganges ist äquivalent zum früheren Diplomstudiengang. Die Definition der allgemeinen Qualifikationsziele auf Studiengangsebene des Bachelors und Masters in Physik wird in der „Konferenz der Fachbereiche Physik“ deutschlandweit und mit Rücksicht auf die

internationale Lehr- und Forschungslandschaft koordiniert, um einen Wechsel während des Studiums innerhalb Deutschlands zu ermöglichen und ein international definiertes Berufsfeld zu sichern.

## **Qualifikationsziele der einzelnen Fächer**

### *Physikalisches Schwerpunkt-, Ergänzungs- und Nebenfach*

Die Studierenden entscheiden selbst über die Schwerpunkte in ihrem Masterstudium und vertiefen ihr Wissen in ausgewählten Fächern. Durch die forschungsnahe Ausbildung erhalten sie Kenntnisse, die sie in die Lage versetzt selbstständig aktuelle Forschungsthemen zu bearbeiten. Schwerpunkt-, Ergänzungs- und Nebenfach müssen aus verschiedenen Themenfeldern gewählt werden. Dies ermöglicht es den Studierenden, tiefere Einblicke in dem Gebiet zu erhalten, das im Fokus des Interesses steht, ohne dass die Breite darunter leidet. Die Studierenden lernen, sich mit forschungsnahen Fragestellungen auseinanderzusetzen und die aktuelle Literatur zu verwenden, um nach Lösungsansätzen zu suchen. Sie eignen sich moderne Messmethoden an und lernen Rechentechniken kennen, die zur Bearbeitung der Masterarbeit benötigt werden.

### *Nichtphysikalisches Wahlpflichtfach*

Das nichtphysikalische Wahlpflichtfach mathematischer, naturwissenschaftlicher oder ingenieurwissenschaftlicher Richtung kann aus den Veranstaltungen anderer Fakultäten gewählt werden. Hier werden fachliche Kompetenzen aus benachbarten Disziplinen erlernt, auch um vielfältige Möglichkeiten auf dem Arbeitsmarkt zu eröffnen.

### *Fortgeschrittenenpraktikum*

Im Fortgeschrittenenpraktikum werden moderne experimentelle Methoden und Techniken erlernt. Die Studierenden beherrschen fortgeschrittene Fähigkeiten bei Versuchsaufbau, Messung und Auswertung der Messdaten.

### *Hauptseminar*

Die Studierenden eignen sich Präsentationstechniken anhand eines eigenen Vortrags sowie der Vorträge der anderen Teilnehmer an. Sie erlernen das selbstständige Sammeln von wissenschaftlichem Material, die korrekte Zitationstechnik, die Auswahl des Stoffes unter didaktischen Gesichtspunkten, die Gliederung des Vortrages, die ansprechende Gestaltung mithilfe moderner Präsentationsmedien, die eigentliche Präsentation und die Beantwortung von Fragen aus dem Publikum.

### *Additive überfachliche Qualifikationen*

Die Studierenden erwerben Kompetenzen jenseits der fachlichen Expertise. Module in den Bereichen Wissenschaftliches Englisch, Patentrecht, Projektmanagement, Tutorenprogramme, Wissenschaftliches Schreiben oder Wissenschaft in der Öffentlichkeit werden durch das House of Competence (HoC) und das Sprachenzentrum regelmäßig angeboten.

### *Einführung in das wissenschaftliche Arbeiten und Spezialisierungsphase*

Im Fach „Einführung in das wissenschaftliche Arbeiten“ erlernen die Studierenden grundlegende Arbeitsmethoden, die für erfolgreiche wissenschaftliche Forschung erforderlich sind. Die Arbeitsmethoden selbst sind dabei unabhängig vom jeweiligen Spezialgebiet, werden aber anhand einer konkreten Aufgabenstellung (Thema der Masterarbeit) geübt und erlernt. Die Studierenden werden dabei vom zukünftigen Betreuer bzw. von der zukünftigen Betreuerin der Masterarbeit angeleitet. Außerdem besuchen die Studierenden begleitend zu Ihrem Studium Seminare und Kolloquien aus dem Angebot der Physik und verschaffen sich so einen Überblick über aktuelle Forschungsthemen. Dabei lernen sie durch Teilnahme an Fachvorträgen zu Spezialthemen, die nicht ihrem Spezialisierungsgebiet angehören, und durch geeignete Fragen an den Vortragenden ihre Kenntnisse zu erweitern.

Im Fach „Spezialisierungsphase“ bearbeitet der bzw. die Studierende selbstständig eine konkrete Aufgabenstellung, die im Zusammenhang mit der zukünftigen Masterarbeit steht. Dies kann z.B. die

Durchführung von Messungen, die Erstellung eines Programms oder die Entwicklung eines theoretischen Ansatzes sein. Auf diese Weise erlernen die Studierenden wesentliche Arbeitstechniken für die Bearbeitung ihrer Masterarbeit, die spezifisch für das jeweilige Spezialisierungsgebiet sind. Die Studierenden werden auch dabei vom zukünftigen Betreuer bzw. von der zukünftigen Betreuerin der Masterarbeit angeleitet. Begleitend besuchen die Studierenden das Seminar des Forschungsbereichs, in dem sie ihre Masterarbeit anfertigen werden. Hier können sie auch die von ihnen durchgeführten Arbeiten und Ergebnisse zur kritischen Diskussion stellen. Sie lernen dabei, ihre eigenen Arbeiten vor Dritten zu präsentieren und Anregungen aus der wissenschaftlichen Diskussion für die weitere Vorgehensweise aufzunehmen.

### *Masterarbeit*

Die Masterarbeit ist neben dem Schwerpunkt-, dem Ergänzung- und dem Nebenfach zentraler Bestandteil der Profilbildung und Vertiefung. Im Rahmen einer Masterarbeit erwirbt der bzw. die Studierende die Fähigkeit, ein wissenschaftliches Problem selbstständig zu analysieren, geeignete Lösungen zu entwickeln, die Ergebnisse zu interpretieren und die wesentlichen Resultate mittels einer Niederschrift entsprechend darzustellen. Außerdem werden überfachliche Qualifikationen wie geplantes, zielführendes Arbeiten, Messtechnik, Protokollführung, Teamarbeit und Teamverantwortung erworben. Die Masterarbeit wird durch die Einführung in das selbstständige wissenschaftliche Arbeiten und die Spezialisierungsphase vorbereitet.

### **Leistungspunkte-System**

Die Leistungspunkte werden auf Modulebene einzeln definiert. Dabei entspricht einem ECTS<sup>1</sup>- oder Leistungspunkt ca. 30 Stunden (à 45 Minuten) Zeitaufwand. Der Zeitaufwand ist im einzelnen aufgeschlüsselt nach reiner Präsenz-, Vor- und Nachbereitungszeit für Vorlesungen, Übungen und Tutorien sowie die Vorbereitung auf eventuell dazugehörige Prüfungen.

---

<sup>1</sup> ECTS: European Credit Transfer System

# Studienplan für den Masterstudiengang Physik

## 1. Einleitung

Die Studien- und Prüfungsordnung des Masterstudienganges Physik (SPO MA Physik) sieht zum erfolgreichen Abschluss des Studiums den Erwerb von 120 ECTS-Punkten vor. Zur Qualitätssicherung dient eine obligatorische Masterarbeit, mit einer Bearbeitungszeit von 6 Monaten; sie wird mit 30 ECTS-Punkten bewertet. Die Regelstudienzeit beträgt vier Semester einschließlich der Masterarbeit. Mit bestandener Masterprüfung wird der akademische Grad „Master of Science (M. Sc.)“ durch das Karlsruher Institut für Technologie verliehen.

Im Folgenden wird ein Überblick über den Ablauf des Masterstudienganges Physik gegeben. Die expliziten Durchführungsregelungen des Studienganges und der Prüfungen finden sich in der Studien- und Prüfungsordnung für den Masterstudiengang Physik vom 1. Oktober 2008 und der Änderungssatzung vom 21. April 2011 (siehe Amtliche Bekanntmachungen der Universität Karlsruhe (TH) vom 10. September 2008 und des KIT vom 21. April 2011 sowie der Studien- und Prüfungsordnung vom 6. August 2015; die Dokumente können über die Internetseite der Fakultät für Physik eingesehen werden). Bei Fragen zur Prüfungsordnung, zu Anerkennungen von Leistungen, zum Studieninhalt, oder zur Zulassung und Anmeldung von Prüfungen finden Sie auf dem Informationsblatt „Wer ist zuständig in Fragen zum Studium und in Prüfungsangelegenheiten“ (siehe schwarzes Brett oder Internetseite der Fakultät) den jeweiligen Ansprechpartner. Die detaillierten Beschreibungen der Lehrveranstaltungen und die jeweiligen Regeln der Leistungsüberprüfung finden Sie im Abschnitt „Übersicht über die einzelnen Module“.

## 2. Lehrveranstaltungen

### a) Physikalisches Schwerpunkt-, Ergänzungs- und Nebenfach

Im Zentrum des Masterstudiums stehen eine Vertiefung und Spezialisierung der in einem Bachelorstudium erworbenen Grundkenntnisse und Methoden bei gleichzeitiger Wahrung der fachlichen Breite. Das Masterstudium kann weitgehend nach individuellen Neigungen und Fähigkeiten ausgerichtet werden. Dazu bietet die Fakultät eine Auswahl von sieben physikalischen Themenfeldern an, welche die Forschungsaktivitäten der Fakultät widerspiegeln. Die für die entsprechenden Veranstaltungen hauptsächlich verantwortlichen Institute werden im Folgenden in Klammern aufgeführt. Über aktuelle Forschungsschwerpunkte informieren die Internetseiten der einzelnen Institute.

Die Themenfelder sind gegliedert in den Bereich der experimentellen Physik (Bereich A): Kondensierte Materie (PI, AP), Nano-Physik (PI, AP, TKM, TFP), Optik und Photonik (AP, TFP), Teilchenphysik (EKP) und Astroteilchenphysik (EKP), und aus dem Bereich der theoretischen Physik (Bereich B): Theoretische Teilchenphysik (TTP, TP) sowie Theorie der Kondensierten Materie (TKM, TFP). Aus jeweils einem dieser Themenfelder werden das physikalische Schwerpunktfach im Umfang von 20 ECTS-Punkten, das physikalische Ergänzungsfach mit 14 ECTS-Punkten und das Nebenfach mit 8 ECTS-Punkten zusammengestellt. Mindestens ein Fach muss aus dem Bereich der theoretischen Physik bzw. aus dem Bereich der experimentellen Physik stammen. Ergänzungsfach oder Nebenfach können auch aus geeigneten Veranstaltungen der Geophysik oder der Meteorologie gewählt werden (Bereich C).

Die Fachnoten werden wie folgt gebildet: Nachdem in den entsprechenden Modulen die zugehörigen ECTS-Punkte durch die vereinbarten Erfolgskontrollen erworben worden sind, erfolgt im Fall des Schwerpunktfachs eine mündliche Einzelprüfung, bei der die Fachnote festgelegt wird. Diese erstreckt sich über 20 ECTS-Punkte, falls das Hauptseminar nicht Teil des Schwerpunktfachs ist, ansonsten über 16 ECTS-Punkte. Im Fall des Ergänzungsfachs kann die Note mit Hilfe von Erfolgskontrollen wie beispielsweise mündlichen Prüfungen (Einzel- oder Gruppenprüfungen), kurzen Vorträgen (vorlesungsbegleitend oder blockartig am Ende des Semesters), kurzen schriftlichen Ausarbeitungen begrenzter Themen oder Klausuren ermittelt werden. Bei dem physikalischen Nebenfach erfolgt keine Benotung. Als Erfolgskontrollen sind neben den bereits aufgeführten auch die erfolgreiche Beteiligung an vorlesungsbegleitenden Übungen geeignet.

Die Vorlesungen werden im experimentellen Bereich durch ein Praktikum in moderner Physik ergänzt.

### b) Hauptseminar

Seit der SPO 2015 ist ein Hauptseminar im Umfang von 4 ECTS-Punkten in einem der drei Fächer Schwerpunkt-, Ergänzungs-, oder Nebenfach zu wählen. Im Hauptseminar wird in einem der Themenfelder Fachwissen vertieft und insbesondere wissenschaftliche Präsentationstechniken erlernt. Das Hauptseminar ist unbenotet.

### c) Nichtphysikalisches Wahlpflichtfach

Das nichtphysikalische Wahlpflichtfach mathematischer, naturwissenschaftlicher oder ingenieurwissenschaftlicher Richtung (8 ECTS-Punkte) kann aus den Veranstaltungen anderer Fakultäten gewählt werden. Der Prüfungsausschuss veröffentlicht eine entsprechende Liste von pauschal genehmigten Modulen. Hiervon abweichende Module müssen vom Prüfungsausschuss explizit genehmigt werden. Die Prüfung im nichtphysikalischen Wahlpflichtfach wird in der Regel mündlich durchgeführt.

### d) Additive überfachliche Qualifikationen

Neben den integrativen überfachlichen Qualifikationen müssen additive überfachliche Qualifikationen im Umfang von 4 ECTS-Punkten erworben werden. Derzeit werden alle vom HoC und vom Sprachenzentrum angebotenen Veranstaltungen als additive überfachliche Qualifikationen genehmigt. Hiervon abweichende Module müssen vom Prüfungsausschuss explizit genehmigt werden.

### e) Einführung in das wissenschaftliche Arbeiten, Spezialisierungsphase und Masterarbeit

Die Masterarbeit, die im vierten Semester des Masterstudiums stattfindet, wird im dritten Semester durch eine Spezialisierungsphase und eine Einführung in das wissenschaftliche Arbeiten vorbereitet. In beiden Fächern werden fundierte Grundlagen und (in integrativer Form) überfachliche Qualifikationen des „Wie treibt man Forschung“ vermittelt.

Die Anmeldung zu den Modulen „Spezialisierungsphase“ und „Einführung in das wissenschaftliche Arbeiten“ kann erst erfolgen nachdem die Modulprüfungen in folgenden Fächern erfolgreich abgelegt sind: Physikalisches Schwerpunktfach, Physikalisches Ergänzungsfach, Physikalisches Nebenfach, physikalisches Fortgeschrittenenpraktikum, Nichtphysikalisches Wahlpflichtfach. Die Anmeldung zur Spezialisierungsphase, zur Einführung in das selbstständige wissenschaftliche Arbeiten und zur Masterarbeit erfolgt im Prüfungssekretariat der KIT-Fakultät für Physik (Physikhochhaus, Zimmer 9/13).

## 3. Anmeldung zu Leistungsüberprüfungen und Fachprüfungen

Zentrale online-Anmeldungen sind derzeit nicht möglich. Prüfungsanmeldungen erfolgen im Prüfungssekretariat der KIT-Fakultät für Physik.

Die erfolgreiche Teilnahme an Lehrveranstaltungen wird bei Bedarf über Bescheinigungen bestätigt, die der Dozent ausstellt.

## 4. Notenbildung

Die Gesamtnote der Masterprüfung errechnet sich aus einem mit Leistungspunkten gewichteten Notendurchschnitt des Schwerpunktfaches (20 ECTS-Punkte), des physikalischen Ergänzungsfaches (14 ECTS-Punkte), des nichtphysikalischen Wahlpflichtfachs (8 ECTS-Punkte) und der Masterarbeit (30 ECTS-Punkte).

## 5. Organisation der Fächer

Schwerpunktfach (SF)	20 ECTS-Punkte
Ergänzungsfach (EF)	14 ECTS-Punkte
Nebenfach (NF)	8 ECTS-Punkte
Nichtphysikalisches Wahlpflichtfach (WPF)	8 ECTS-Punkte

Das Schwerpunktfach (SF), das Ergänzungsfach (EF) sowie das Nebenfach (NF) werden aus den Veranstaltungen der Fakultät für Physik zusammengestellt. Es gibt einige wenige Ausnahmen, die in der nachstehenden Liste mit *extern* gekennzeichnet sind.

Grundsätzlich gilt, dass die Studierenden sich erst im Laufe oder nach Abschluss des zweiten Semesters für die Aufteilung der besuchten Veranstaltungen in SF, EF und NF entscheiden müssen. Es müssen aber die nachfolgend aufgeführten, allgemeingültigen Regeln beachtet werden.

Das nichtphysikalische Wahlpflichtfach (WPF) mathematischer, natur- oder ingenieurwissenschaftlicher Richtung wird aus Veranstaltungen anderer Fakultäten zusammengestellt. Hierzu wird vom Prüfungsausschuss der Fakultät eine Positivliste erstellt, d.h. es gibt Veranstaltungen bzw. bewährte Kombinationen von Veranstaltungen, die empfohlen werden und bereits genehmigt sind. Studierende können andere Veranstaltungen bzw. Kombinationen als WPF beantragen, die dann im Prüfungsausschuss diskutiert und ggf. genehmigt werden.

## **Schwerpunktfächer (SF)**

Themenfelder Bereich A: Experimentelle Physik

- Kondensierte Materie
- Nanophysik
- Optik und Photonik
- Experimentelle Teilchenphysik
- Experimentelle Astroteilchenphysik

Themenfelder Bereich B: Theoretische Physik

- Theoretische Teilchenphysik
- Theorie der Kondensierten Materie

Bei den Schwerpunktfächern gibt es Veranstaltungen, die verpflichtend sind. Diese Pflichtveranstaltungen können dann durch die anderen für dieses Schwerpunktfach aufgeführten Veranstaltungen ergänzt werden.

## **Ergänzungsfächer (EF)**

Ergänzungsfächer setzen sich aus Teilen der Themenfelder zusammen. Beispiele sind Halbleiterphysik und -optik, Experimentelle Teilchenphysik und Datenanalyse, Theoretische Teilchenphysik I und Supersymmetrie etc. Bei den Ergänzungsfächern kann es verpflichtende Veranstaltungen geben.

## **Nebenfach (NF)**

Das Nebenfach besteht in der Regel aus einzelnen Veranstaltungen aus einem der Themenbereiche, z. B. Halbleiterphysik, Teilchenphysik I, Theoretische Teilchenphysik I etc.

## **Allgemeingültige Regeln für die Auswahl der Fächer und Modulkombinationen:**

- Die Prüfenden im SF, EF, NF und WPF müssen verschieden sein.
- Mindestens ein Fach muss aus dem Bereich der Theoretischen Physik bzw. aus der Experimentellen Physik stammen. Falls nur ein einziges experimentelles Themenfeld gewählt wurde, ist es nicht möglich, die notwendigen ECTS-Punkte durch die in diesem Themenfeld gelisteten Theorie-Vorlesungen zu erwerben.
- Aus anderen Fakultäten stammende und stark physiknahe Vorlesungen (z.B. Nichtlineare Optik) können nach Genehmigung durch den Prüfungsausschuss zu einem Fach kombiniert werden.
- Geophysik oder Meteorologie können als EF oder NF (festgelegte Veranstaltungen) gewählt werden. Leistungen, die im Bachelorstudium als Teil des nichtphysikalischen Wahlpflichtfaches erbracht worden sind, können nicht ein weiteres Mal im Masterstudium verwendet werden.
- Für das nichtphysikalische Wahlpflichtfach (WPF) wird eine Positivliste erarbeitet und alle anderen Veranstaltungen sind zustimmungspflichtig.
- Die Note im WPF wird in der Regel in einer mündlichen Prüfung ermittelt.
- Die Regeln für die vorgeschriebenen Veranstaltungen der einzelnen Themenfelder müssen für das EF und SF individuell erfüllt sein.

## Bereich A: Experimentelle Physik

### Kondensierte Materie

<b>regelmäßige Veranstaltungen</b>	*	<b>SWS</b>	<b>ECTS</b>
Elektronische Eigenschaften von Festkörpern I (mit/ohne Übungen) <i>Electronic Properties of Solids I (with/without exercises)</i>	WS	v4u1/v4u0	10/8
Elektronische Eigenschaften von Festkörpern II (mit/ohne Übungen) <i>Electronic Properties of Solids II (with/without exercises)</i>	SS	v2u2/v2u0	8/4
Halbleiterphysik (mit/ohne Übungen) <i>Physics of Semiconductors (with/without exercises)</i>	SS	v4u1/v4u0	10/8
Elektronenmikroskopie I (mit/ohne Übungen) <i>Electron microscopy I (with/without exercises)</i>		v2u2/v2u0	8/4
Oberflächenphysik (mit/ohne Übungen) <i>Physics of Solid State Surfaces (with/without exercises)</i>		v4u1/v4u0	10/8
Solid-State Optics (mit/ohne Übungen) [ab WS16/17 nur v4u0]	WS	v4u1/v4u0	10/8
<b>weitere Veranstaltungen</b>			
Quantum Information Processing with Solid-State Devices (with/without ext. exercises) [ab WS16/17 nur v2u1]		v2u2/v2u1	8/6
Introduction into Quantum Optics and Quantum Communication		v3u1	8
Kristallographische Grundlagen der Festkörperphysik <i>Fundamentals of Solid State Crystallography</i>	WS	v2u1	6
Kristallstrukturbestimmung <i>Determination of crystal structures</i>		v2u1	6
Experimentelle Methoden der Halbleiterphysik <i>Experimental methods in Semiconductor Physics</i>		v3	6
Supraleiter-Nanostrukturen <i>Superconducting nanostructures</i>		v2u1	6
Magnetische Resonanz <i>Magnetic resonance</i>		v2	4
Elektronenmikroskopie II (mit/ohne Übungen) <i>Electron microscopy II (with/without exercises)</i>		v2u2/v2u0	8/4
Pulverdiffraktometrie <i>Powder diffraction</i>		v2u1	6
Beschleunigerphysik II: Synchrotronstrahlungsquellen <i>Physics of accelerators II: Sources of Synchrotron Radiation</i>	WS	v2u1	6
Modern X-ray Physics I: Coherent X-ray Imaging and Scattering (with/without ext. exercises)	WS	v2u2p2/ v2u2	10/8
Modern X-ray Physics II: Condensed Matter Physics with Synchrotron Radiation	WS	v2u2	8
Phasenübergänge – Konzepte und Experimente <i>Phase Transitions – Concepts and Experiments</i>		v2	4
Spintransport in Nanostrukturen <i>Spin Transport in Nanostructures</i>		v2u1	6
Quantum Machines: Design and Implementation in solid state devices		v2u2	8
Nanomagnetism, Quantummagnetism and Spin Bath Physics		v2	4

\*Semester, in dem die Veranstaltung in der Regel angeboten wird.

Vorgeschriebene Veranstaltung für das SF:

- Elektronische Eigenschaften von Festkörpern I  
ODER
- Halbleiterphysik

Vorgeschriebene Veranstaltung für das EF:

- Eine der Veranstaltungen: Elektronische Eigenschaften von Festkörpern I oder II, Halbleiterphysik, Oberflächenphysik, Solid-State Optics

## Nanophysik

<b>regelmäßige Veranstaltungen</b>	*	<b>SWS</b>	<b>ECTS</b>
Grundlagen der Nanotechnologie I <i>Basics of Nanotechnology I</i>	WS	v2	4
Grundlagen der Nanotechnologie II <i>Basics of Nanotechnology II</i>	SS	v2	4
Elektronische Eigenschaften von Festkörpern I (mit/ohne Übungen) <i>Electronic Properties of Solids I (with/without exercises)</i>	WS	v4u1/v4u0	10/8
Elektronische Eigenschaften von Festkörpern II (mit/ohne Übungen) <i>Electronic Properties of Solids II (with/without exercises)</i>	SS	v2u2/v2u0	8/4
Halbleiterphysik (mit/ohne Übungen) <i>Physics of Semiconductors (with/without exercises)</i>	SS	v4u1/v4u0	10/8
Oberflächenphysik (mit/ohne Übungen) <i>Physics of Solid State Surfaces (with/without exercises)</i>		v4u1/v4u0	10/8
Elektronenmikroskopie I (mit/ohne Übungen) <i>Electron microscopy I (with/without exercises)</i>		v2u2/v2u0	8/4
Nano-Optics	WS	v3u1	8
Advanced Optical Materials	WS	v3u1	8
<b>weitere Veranstaltungen</b>			
Experimentelle Biophysik I (ohne/mit Seminar) <i>Experimental Biophysics I (without/with seminar)</i>		v4u2/ v4u2s2	12/14
Experimentelle Biophysik II (ohne/mit Seminar) <i>Experimental Biophysics II (without/with seminar)</i>		v4u2/ v4u2s2	12/14
Elektronenmikroskopie II (mit/ohne Übungen) <i>Electron microscopy II (with/without exercises)</i>		v2u2/v2u0	8/4
Elektronenoptik (mit/ohne Übungen) <i>Electron optics (with/without exercises)</i>		v2u1/v2u0	6/4
Modern X-ray Physics I: Coherent X-ray Imaging and Scattering (with/without ext. exercises)	WS	v2u2p2/ v2u2	10/8
Modern X-ray Physics II: Condensed Matter Physics with Synchrotron Radiation	WS	v2u2	8
Elektronische Eigenschaften von Nanostrukturen <i>Electronic properties of nanostructures</i>	SS	v3u1	8
Supraleiter-Nanostrukturen <i>Superconducting nanostructures</i>		v2u1	6
Theorie des Quantentransports in Nanostrukturen <i>Theory of quantum transport in nanostructures</i>		v3u1	8T
Physik der Quanteninformation <i>Theory of quantum information</i>		v3u1	8T
Simulation nanoskaliger Systeme (ohne/mit Seminar) <i>Simulation of Nanoscale Systems (without/with seminar)</i>		v2u1/ v2u1s2	6/8T
Theoretische molekulare Biophysik (ohne/mit Seminar) <i>Theoretical molecular Biophysics (without/with seminar)</i>		v2u1/ v2u1s2	6/8T
Theoretical Optics (Theorie)	SS	v2u1	6T
Theoretical Nanooptics (Theorie)	SS	v2u1	6T
Spintransport in Nanostrukturen <i>Spin Transport in Nanostructures</i>		v2u1	6
Quantum Information Processing with Solid-State Devices (without/with ext. exercises) [ab WS16/17 nur v2u1]		v2u1/v2u2	6/8
Computational Photonics (without/with ext. exercises)		v2u1/v2u2	6/8T
Quantum Optics		v2u1	6T
Quantum Machines: Design and Implementation in solid state devices		v2u2	8
Quantenoptik auf der Nanoskala <i>Quantum optics at the nano scale</i>		v2u0	4

\*Semester, in dem die Veranstaltung in der Regel angeboten wird.

Vorgeschriebene Veranstaltungen für das SF:

- Grundlagen der Nanotechnologie I und II UND
- Eine der Veranstaltungen: Elektronische Eigenschaften von Festkörpern I, Halbleiterphysik, Oberflächenphysik, Experimentelle Biophysik I oder II

Vorgeschriebene Veranstaltungen für das EF:

- Grundlagen der Nanotechnologie I und II

T: Theorievorlesungen, nicht geeignet, wenn „Nanophysik“ das einzige experimentelle Fach ist

## Optik und Photonik

<b>regelmäßige Veranstaltungen</b>	<b>*</b>	<b>SWS</b>	<b>ECTS</b>
Solid-State Optics (mit/ohne Übungen) [ab WS 16/17 nur v4u0]	WS	v4u1/v4u0	10/8
Advanced Optical Materials		v3u1	8
Nano-Optics	WS	v3u1	8
Theoretical Optics (Theorie)	SS	v2u1	6T
Theoretical Nanooptics (Theorie)	SS	v2u1	6T
Molekülspektroskopie (extern) <i>Molecular Spectroscopy (extern)</i>	WS	v2u1	6
Nonlinear Optics (extern)	SS	v2u1	6
Photovoltaik (extern) <i>Photovoltaics (extern)</i>	WS+SS	v3	6
<b>weitere Veranstaltungen</b>			
Modern X-ray Physics I: Coherent X-ray Imaging and Scattering (with/without ext. exercises)	WS	v2u2p2/ v2u2	10/8
Modern X-ray Physics III: Optical Coherence, Imaging, and Computed Tomography (with/without ext. exercises)	SS	v2u2p2/ v2u2	10/8
Experimentelle Biophysik I (ohne/mit Seminar) <i>Experimental Biophysics I (without/with seminar)</i>		v4u2/ v4u2s2	12/14
Experimentelle Biophysik II (ohne/mit Seminar) <i>Experimental Biophysics II (without/with seminar)</i>		V4u2/ v4u2s2	12/14
Lichtoptische Mikroskopie und Nanoskopie <i>Light Optical Microscopy and Nanoscopy</i>		v2	4
Quantum Optics		v2u1	6T
Computational Photonics (without/with ext. exercises)		v2u1/ v2u2	6/8T
Introduction into Quantum Optics and Quantum Communication		v3u1	8T
Quantenoptik auf der Nanoskala <i>Quantum optics at the nano scale</i>		v2u0	4

\*Semester, in dem die Veranstaltung in der Regel angeboten wird.

Vorgeschriebene Veranstaltungen für das SF:

- Solid-State Optics  
UND
- Theoretical Optics

Einschränkungen für das EF:

- maximal eine Veranstaltung aus dem Bereich „weitere Veranstaltungen“
- maximal eine Veranstaltung aus dem externen Angebot

T: Theorievorlesungen, nicht geeignet, wenn „Optik und Photonik“ das einzige experimentelle Fach ist

## Experimentelle Teilchenphysik

<b>regelmäßige Veranstaltungen</b>	*	<b>SWS</b>	<b>ECTS</b>
Teilchenphysik I <i>Particle Physics I</i>	WS	v3p2	8
Teilchenphysik II: (s.u.) <i>Particle Physics II</i>		v2u1/v2u2	6/8
Moderne Methoden der Datenanalyse (ohne/mit erweit. Übungen) <i>Modern Methods of Data Analysis (without/with ext. exercises)</i>	SS	v2p2/v2p4	6/8
Elektronik für Physiker <i>Electronics for Physicists</i>	WS	v4p4	10
Elektronik für Physiker: Analogelektronik <i>Electronics for Physicists: Analog Electronics</i>	WS	v2p2	6
Elektronik für Physiker: Digitalelektronik <i>Electronics for Physicists: Digital Electronics</i>	WS	v2p2	6
Beschleunigerphysik I: Teilchenbeschleuniger (ohne/mit erweit. Übungen) <i>Accelerator Physics I: Particle Accelerators (without/with ext. exercises)</i>	SS	v2u1/ v2u1p2	6/8
Messmethoden und Techniken der Experimentalphysik (ohne/mit erweit. Übungen) <i>Measurement methods and Techniques in Experimental Physics (without/with ext. exercises)</i>	SS	v2u1/ v2u1p2	6/8
Detektoren für Teilchen- und Astroteilchenphysik (ohne/mit erweit. Übungen) <i>Detectors for Particle and Astroparticle Physics (without/with ext. exercises)</i>	WS	v2p2/v2p4	6/8
<b>weitere Veranstaltungen</b>			
Teilchenphysik II – Supersymmetrie (ohne/mit erweit. Übungen) <i>Particle Physics II – Supersymmetry (without/with ext. exercises)</i>		v2u1/v2u2	6/8
Teilchenphysik II – Flavour-Physik (ohne/mit erweit. Übungen) <i>Particle Physics II – Flavour Physics (without/with ext. exercises)</i>		v2u1/v2u2	6/8
Teilchenphysik II – W, Z, Top am Collider (ohne/mit erweit. Übungen) <i>Particle Physics II – W, Z, Top at Colliders (without/with ext. exercises)</i>		v2u1/v2u2	6/8
Teilchenphysik II – Jet-Physik (ohne/mit erweit. Übungen) <i>Particle Physics II – Jet Physics (without/with ext. exercises)</i>		v2u1/v2u2	6/8
Teilchenphysik II – Higgs-Physik (ohne/mit erweit. Übungen) <i>Particle Physics II – Higgs Physics (without/with ext. exercises)</i>		v2u1/v2u2	6/8
Experimente der Neutrino-Physik (ohne/mit erweit. Übungen) <i>Experiments of Neutrino Physics (without/with ext. exercises)</i>		v2u1/v2u2	6/8

\*Semester, in dem die Veranstaltung in der Regel angeboten wird.

Vorgeschriebene Veranstaltungen für das SF:

- Teilchenphysik I und eine Veranstaltung Teilchenphysik II

Vorgeschriebene Veranstaltung für das EF:

- Teilchenphysik I

Es kann entweder Elektronik für Physiker oder eine der Veranstaltungen Analogelektronik bzw. Digitalelektronik als Bestandteil des SF, EF oder NF gewählt werden.

## Experimentelle Astroteilchenphysik

<b>regelmäßige Veranstaltungen</b>	<b>*</b>	<b>SWS</b>	<b>ECTS</b>
Astroteilchenphysik I <i>Astroparticle Physics I</i>	WS	v3u1/v3p2	8
Astroteilchenphysik II – (s.u.) <i>Astroparticle Physics II</i>		v2u1/v2u2	6/8
Einführung in die Kosmologie <i>Introduction to Cosmology</i>	WS	v2u1	6
Moderne Methoden der Datenanalyse (ohne/mit erweit. Übungen) <i>Modern Methods of Data Analysis (without/with ext. exercises)</i>	SS	v2p2/v2p4	6/8
Elektronik für Physiker <i>Electronics for Physicists</i>	WS	v4p4	10
Elektronik für Physiker: Analogelektronik <i>Electronics for Physicists: Analog Electronics</i>	WS	v2p2	6
Elektronik für Physiker: Digitalelektronik <i>Electronics for Physicists: Digital Electronics</i>	WS	v2p2	6
Messmethoden und Techniken der Experimentalphysik <i>Measurement methods and Techniques in Experimental Physics</i>	SS	v2u1/ v2u1p2	6/8
Beschleunigerphysik I: Teilchenbeschleuniger (ohne/mit erweit. Übungen) <i>Accelerator Physics I: Particle Accelerators (without/with ext. exercises)</i>	SS	v2u1/ v2u1p2	6/8
Detektoren für Teilchen- und Astroteilchenphysik (ohne/mit erweit. Übungen) <i>Detectors for Particle and Astroparticle Physics (without/with ext. exercises)</i>	WS	v2p2/v2p4	6/8
<b>weitere Veranstaltungen</b>			
Astroteilchenphysik II: Kosmische Strahlung (ohne/mit erweit. Übungen) <i>Astroparticle Physics II: Cosmic Rays (without/with ext. exercises)</i>	WS	v2u1/v2u2	6/8
Astroteilchenphysik II: Gamma-Strahlung (ohne/mit erweit. Übungen) <i>Astroparticle Physics II: Gamma Rays (without/with ext. exercises)</i>	SS	v2u1/v2u2	6/8
Astroteilchenphysik II: Teilchen und Sterne (ohne/mit erweit. Übungen) <i>Astroparticle Physics II: Particles and Stars (without/with ext. exercises)</i>		v2u1/v2u2	6/8
Experimente der Neutrino-Physik (ohne/mit erweit. Übungen) <i>Experiments of Neutrino Physics (without/with ext. exercises)</i>		v2u1/v2u2	6/8
Neutrino-Physik - theoretische Aspekte <i>Neutrino physics - theoretical aspects</i>		v2u2	8T
Dunkle Materie – theoretische Aspekte Dark matter – theoretical issues		v2u1	6T
Allgemeine Relativitätstheorie <i>General Relativity</i>		v3u2	10T

\*Semester, in dem die Veranstaltung in der Regel angeboten wird.

Vorgeschriebene Veranstaltungen für das SF:

- Astroteilchenphysik I oder Einführung in die Kosmologie kombiniert mit einer der Veranstaltungen zur
- Astroteilchenphysik II

Vorgeschriebene Veranstaltung für das EF:

- Astroteilchenphysik I oder Einführung in die Kosmologie

T: Theorievorlesungen, nicht geeignet, wenn „Experimentelle Astroteilchenphysik“ das einzige experimentelle Fach ist

Es kann entweder Elektronik für Physiker oder eine der Veranstaltungen Analogelektronik bzw. Digitalelektronik als Bestandteil des SF, EF oder NF gewählt werden.

## B Bereich Theoretische Physik

### Theoretische Teilchenphysik

<b>regelmäßige Veranstaltungen</b>	*	<b>SWS</b>	<b>ECTS</b>
Einführung in die Theoretische Teilchenphysik (mit/ohne erweit. Übungen) <i>Introduction in Theoretical Particle Physics (with/without ext. exercises)</i>	WS	v3u2/v3u1	10/8
Theoretische Teilchenphysik I, Grundlagen und Vertiefungen (mit/ohne Übungen) <i>Theoretical Particle Physics I, Fundamentals and Advanced Topics (with/without exercises)</i>	SS	v4u2/v4u0	12/8
Theoretische Teilchenphysik I, Grundlagen (mit/ohne Übungen) <i>Theoretical Particle Physics I, Fundamentals (with/without exercises)</i>	SS	v3u1/v3u0	8/6
Theoretische Teilchenphysik II (mit/ohne Übungen) <i>Theoretical Particle Physics II (with/without exercises)</i>	WS	v4u2/v4u0	12/8
<b>weitere Veranstaltungen</b>			
Einführung in die Flavourphysik, Grundlagen und Vertiefungen <i>Introduction to Flavor Physics, Fundamentals and Advanced Topics</i>		v4u2	12
Einführung in die Flavourphysik, Grundlagen <i>Introduction to Flavor Physics, Fundamentals</i>		v3u2	10
Physik jenseits des Standardmodells <i>Physics beyond the Standard Model</i>		v4u2	12
QCD und Colliderphysik (mit/ohne Übungen) <i>QCD and Collider Physics (with/without exercises)</i>		v3u1/v2u2	8
Supersymmetrie an Collidern <i>Supersymmetry at Colliders</i>		v2u0	4
Computational Physics		v2u2	8
Symmetrien, Gruppen und erweiterte Eichtheorien <i>Symmetries, Groups and extended Gauge Theories</i>		v4u2	12
Symmetrien und Gruppen <i>Symmetries and Groups</i>		v3u1	8
Pfadintegrale, Renormierungsgruppen und vereinheitlichte Theorien <i>Path Integrals, Renormalization Group and Unified Theories</i>		v3u2	10
Higgs-Phänomenologie <i>Higgs Phenomenology</i>		v3u1	8
Allgemeine Relativitätstheorie <i>General Relativity</i>		v3u2	10
Allgemeine Relativitätstheorie II <i>General Relativity II</i>		v3u2	10
Gravitation und Kosmologie 1 <i>Gravitation and Cosmology 1</i>		v3u2	10
Gravitation und Kosmologie 2 <i>Gravitation and Cosmology 2</i>		v3u2	10
Advanced Topics in Quantum Field Theory		v2u2	8
Physics of Strong Interactions		v2u2	8
Neutrino-Physik – Theoretische Aspekte <i>Neutrino Physics – Theoretical issues</i>		v2u2	8
Dunkle Materie – Theoretische Aspekte <i>Dark matter – Theoretical issues</i>		v2u1	6
Effektive Feldtheorien <i>Effective field theories</i>		v2u2	8

\*Semester, in dem die Veranstaltung in der Regel angeboten wird.

Vorgeschriebene Veranstaltung für das SF:

- Theoretische Teilchenphysik I mit 8 oder 12 ECTS-Punkten

## Theorie der Kondensierten Materie

<b>regelmäßige Veranstaltungen</b>	*	<b>SWS</b>	<b>ECTS</b>
Theorie der kondensierten Materie I, Grundlagen und Vertiefungen <i>Condensed Matter Theory I, Fundamentals and Advanced Topics</i>	WS	v4u2	12
Theorie der kondensierten Materie I, Grundlagen <i>Condensed Matter Theory I, Fundamentals</i>	WS	v3u1	8
Theorie der kondensierten Materie II: Vielteilchentheorie, Grundlagen und Vertiefungen <i>Condensed Matter Theory II: Many-Body Theory, Fundamentals and Advanced Topics</i>	SS	v4u2	12
Theorie der kondensierten Materie II: Vielteilchentheorie, Grundlagen <i>Condensed Matter Theory II: Many-Body Theory, Fundamentals</i>	SS	v3u1	8
Theorie der Kondensierten Materie II: Vielteilchentheorie, ausgewählte Themen <i>Condensed Matter Theory II: Many-Body Theory, selected topics</i>		v1u0	2
Theorie der Kondensierten Materie IIa: (s.u.) <i>Condensed matter theory IIa:</i>		v3u1	8
<b>TKM IIa (mind. eine wird regelmäßig angeboten)</b>			
Theorie des Quantentransports in Nanostrukturen <i>Theory of quantum transport in nanostructures</i>		v3u1	8
Physik der Quanteninformation <i>Theory of quantum information</i>		v3u1	8
Theorie der Supraleitung <i>Theory of superconductivity</i>		v3u1	8
Theorie des Magnetismus <i>Theory of magnetism</i>		v3u1	8
<i>Computational Condensed Matter Theory (without/with exercises)</i> [nur WS15/16]		v3u0/v3u1	6/8
<b>weitere Veranstaltungen</b>			
Feldtheorien der kondensierten Materie <i>Field theories of condensed matter</i>		v4u0/v3u1	8
Theoretische molekulare Biophysik (ohne/mit Seminar) <i>Theoretical molecular biophysics (without/with seminar)</i>		v2u1/ v2u1s2	6/8
Quantum Physics in One Dimension		v2	4
Simulation nanoskaliger Systeme (ohne/mit Seminar) <i>Simulation of Nanoscale Systems (without/with seminar)</i>		v2u1/ v2u1s2	6/8
Theoretical Nanooptics	SS	v2u1	6
Field Theories of Disordered Systems [nur WS15/16]		v4	8
The ABC of DFT		v2u1	6
Quantum Optics		v2u1	6

\*Semester, in dem die Veranstaltung in der Regel angeboten wird.

Vorgeschriebene Veranstaltung für das SF:

Theorie der Kondensierten Materie I mit 8 oder 12 ECTS-Punkten

## C Veranstaltungen der Geophysik und Meteorologie

Geeignet für das physikalische Ergänzungs- oder Nebenfach

### Geophysik

Die folgenden Lehrveranstaltungen sind Bestandteil des Masterstudiengangs Geophysik und werden ab dem WS 2011/12 im jährlichen Turnus angeboten:

<b>Veranstaltungen</b>		<b>SWS</b>	<b>ECTS</b>
Physik seismischer Messinstrumente <i>Physics of seismic instruments</i>	WS	v2u1	6
Seismologische Signalverarbeitung <i>Seismological signal processing</i>	WS	u2	4
Array Processing	WS	v1u1	4
Reflexionsseismisches Processing <i>Seismic imaging</i>	WS	v2u2	8
Theorie seismischer Wellen <i>Theory of seismic waves</i>	SS	v2u1	6
<i>Seismic Full Waveform Inversion</i>	SS	v1u1	4
Inversion und Tomographie <i>Inversion and Tomography</i>	SS	v2u2	8

Die folgenden Lehrveranstaltungen sind Bestandteil des Wahlbereichs des Masterstudiengangs Geophysik und werden in unregelmäßigen Abständen angeboten:

<b>Veranstaltungen</b>		<b>SWS</b>	<b>ECTS</b>
Naturgefahren und Risiken <i>Geological Hazards and Risks</i>		v2u1	6
Simulation seismischer Wellen <i>Simulation of seismic waves</i>		v2u1	6
Physik der Lithosphäre <i>Physics of the Lithosphere</i>			3
Geodynamische Modellierung 1 <i>Geodynamic Modeling 1</i>			2
Geodynamische Modellierung 2 <i>Geodynamic Modeling 2</i>			2
Einführung in die Vulkanologie <i>Introduction to Volcanology</i>			4
Geophysikalische Tiefenerkundung an Vulkanen am Beispiel des Vogelsbergs* <i>Geophysical Deep Sounding at Volcanoes and the Example of the Vogelsberg</i>			4
Geophysikalische Bewertung und Gefährdungspotential mediterraner Vulkane* <i>Hazard and Risk Assessment of Mediterranean Volcanoes</i>			6
Geophysikalische Erkundung von Vulkanfeldern* <i>Geophysical Investigation of Volcanic Fields</i>			4
Induzierte Seismizität <i>Induced Seismicity</i>			5

\* Voraussetzung für dieses Modul ist die erfolgreiche Teilnahme an "Einführung in die Vulkanologie"

## Meteorologie

"Theoretische Meteorologie I (TM I)" kann Teil des nicht-physikalischen Wahlpflichtfachs (WPF) im Bachelorstudiengang Physik sein. Falls das der Fall ist, kann die Veranstaltung nicht Teil des NF oder EF im Masterstudiengang sein.

Im Masterstudiengang Meteorologie sind die meteorologischen Veranstaltungen in den 4 Modulen

- Komponenten des Klimasystems
- Atmosphärische Prozesse
- Experimentelle Meteorologie
- Angewandte Meteorologie

zusammengefasst. Als Teil des NF oder EF (nach den unten spezifizierten Regeln) sind alle bis auf folgende Veranstaltungen erlaubt:

- Experimentelle Meteorologie: Fortgeschrittenenpraktikum
- Experimentelle Meteorologie: Exkursion
- Angewandte Meteorologie: Methoden der Datenanalyse

Meteorologie als Nebenfach:

- TM I ist nicht Teil des WPF im Studiengang Bachelor Physik:  
TM I (6 LP) + 1 Mastervorlesung (2 LP)
- TM I ist Teil des WPF im Studiengang Bachelor Physik:  
TM II (3 LP) + Mastervorlesungen im Umfang von mindestens 5 LP

Meteorologie als Ergänzungsfach:

- TM I ist nicht Teil des WPF im Studiengang Bachelor Physik:
  - TM I+II (6 + 3 LP) + 2 LP (Prüfung)  
+ Mastervorlesungen im Umfang von mindestens 2 LP + 1 LP Prüfung
  - TM I (6 LP) + 1 LP (Prüfung)  
+ Mastervorlesungen im Umfang von mindestens 6 LP + 1 LP Prüfung
- TM I ist Teil des WPF im Bachelor Physik:
  - TM II+III+IV (3+6+3 LP) + 2 LP (Prüfung)
  - TM II (3 LP) + 1 LP (Prüfung)  
+ Mastervorlesungen im Umfang von mindestens 9 LP + 1 LP Prüfung  
Diese Veranstaltungen dürfen aus maximal 2 der oben aufgeführten 4 Modulen sein.
- Synoptik I + II + Fortgeschrittene Numerische Wettervorhersage  
(6+4+2 LP) + 2 LP (Prüfung)

## Graphische Darstellung des Studienplans

Sem							CP
1	Physikalisches Schwerpunktfach 8	Physikalisches Ergänzungsfach 8	Physikalisches Nebenfach* 8	Fortgeschrittenen- praktikum* P4 6			30
2	Physikalisches Schwerpunktfach 12	Physikalisches Ergänzungsfach 6			WPF* V4Ü2 8	Überfachliche Qualifikationen* 4	30
3	Spezialisierungsphase (3 Monate) Einführung in das wiss. Arbeiten (3 Monate) 15 15						30
4	Masterarbeit (6 Monate) 30						30
	<b>Summe</b>						<b>120</b>

\* Das Physikalisches Nebenfach, Fortgeschrittenenpraktikum, das Nichtphysikalische Wahlpflichtfach sowie die Überfachlichen Qualifikationen werden sowohl im Sommer- als auch im Wintersemester angeboten und können je nach Vorliebe belegt werden. Überlast in einem Semester ist zu vermeiden.

# **Übersicht über die einzelnen Module**

**Wintersemester 2017/18**

## **Modul: Hauptseminar**

**Lehrveranstaltungsnummer:** Die Nummer des individuell ausgewählten Seminars

**Modulverantwortliche:** Dozenten der Physik

**Einordnung in Studiengang:** Master Physik, Themenfelder je nach Veranstaltung

**Level:** Master (4)

**Leistungspunkte:** 4

**Semesterwochenstunden:** 2

**Arbeitsaufwand:**

120 Stunden bestehend aus Präsenzzeiten (30 Stunden), Nachbereitung (30 Stunden) sowie Vorbereitung des eigenen Vortrags inkl. Probevortrag (60 Stunden).

**Modulturnus:** Jedes Semester

**Moduldauer:** Ein Semester

**Lehr- und Lernformen:** Seminar

**Voraussetzungen:** keine

**Bedingungen:** keine

**Empfehlungen:** keine

**Qualifikationsziele:**

Es werden wissenschaftliche Präsentationstechniken anhand eines eigenen Vortrags sowie den Vorträgen der anderen Teilnehmer erlernt. Dies beinhaltet die selbständige Sammlung an wissenschaftlichen Materials, die korrekte Zitationstechnik, die Auswahl des Stoffes unter didaktischen Gesichtspunkten, die Gliederung des Vortrages, die Foliengestaltung, die eigentliche Präsentation und die Beantwortung von Fragen aus dem Publikum.

**Inhalt:**

Nebst den Präsentationstechniken werden je nach Themenwahl spezielle wissenschaftliche Themen bis hin zum aktuellen Forschungsstand vermittelt.

**Literatur:**

Neben Lehrbüchern zu den Spezialthemen werden insbesondere wissenschaftliche Fachartikel verwendet.

**Leistungsnachweis:**

Der Leistungsnachweis besteht aus regelmäßiger Anwesenheit sowie dem eigenen Vortrag.

**Notenbildung:** Unbenotete Veranstaltung

# **Modul: Physikalisches Fortgeschrittenenpraktikum für Masterstudenten**

**Lehrveranstaltungsnummer:** 4011333

**Modulverantwortliche:** Naber, Andreas; Sürgers, Christoph; Wolf, Joachim

**Einordnung in Studiengang:**

Master Physik, Themenfeld/er: Moderne experimentelle Physik

**Level:** Master (4)

**Leistungspunkte:** 6

**Semesterwochenstunden:** 4

**Arbeitsaufwand:**

5 Versuche, 180 Stunden bestehend aus Präsenzzeiten (60), Vorbereitung, Auswertung der Versuche und Anfertigen der Protokolle (120).

**Modulturnus:** Jedes Semester

**Moduldauer:** Ein Semester

**Lehr- und Lernformen:** Praktikum

**Voraussetzungen:** keine

**Bedingungen:**

Verpflichtende Teilnahme an Vorbesprechung mit Sicherheitsunterweisung und Strahlenschutzbelehrung.

**Empfehlungen:** keine

**Qualifikationsziele:**

Erlernen moderner experimenteller Methoden und Techniken sowie Vermittlung fortgeschrittener Fähigkeiten bei Versuchsaufbau, Messung und Auswertung.

**Inhalt:**

Versuche aus den Bereichen Atomphysik, Kernphysik, Festkörperphysik, Biophysik und Moderner Optik / Quantenoptik. Eine Liste der Versuche ist unter <http://www.physik.kit.edu/Studium/F-Praktika/> zu finden.

**Literatur:**

Lehrbücher der Experimentalphysik. Spezielles Material für jeden einzelnen Versuch wird bereitgestellt.

**Leistungsnachweis:**

Die Leistungsnachweise müssen für jeden einzelnen Versuch erbracht werden. Dazu zählen Vorbereitung, Durchführung, Auswertung und Anfertigen eines Protokolls. Zum Bestehen des Praktikums ist es erforderlich, dass alle Versuche durchgeführt und die Protokolle von den jeweiligen Betreuern anerkannt werden. Für Details siehe <http://www.physik.kit.edu/Studium/F-Praktika/>.

**Notenbildung:** Unbenotete Veranstaltung

# **Modul: Elektronische Eigenschaften von Festkörpern I**

**Lehrveranstaltungsnummer:** 4021011

**Modulverantwortliche:** Le Tacon, Matthieu; Weber, Frank

**Einordnung in Studiengang:**

Master Physik, Themenfeld/er: Kondensierte Materie, Nanophysik

**Level:** Master (4)

**Leistungspunkte:** 10 oder 8

**Semesterwochenstunden:** 5 (v4u1) oder 4 (v4u0)

**Arbeitsaufwand:**

300 bzw. 240 Stunden bestehend aus Präsenzzeiten (75 bzw. 60 Stunden), Nachbereitung der Vorlesung inkl. Prüfungsvorbereitung und Bearbeitung der Übungen (225 bzw. 180 Stunden).

**Modulturnus:** WS

**Moduldauer:** Ein Semester

**Lehr- und Lernformen:**

4021011 Vorlesung 4 SWS; Matthieu Le Tacon, Frank Weber

4021012 Übung 1 SWS; Matthieu Le Tacon, Frank Weber

**Voraussetzungen:** keine

**Bedingungen:** keine

**Empfehlungen:**

Grundlagenkenntnisse der Festkörperphysik, Quantenmechanik, sowie der Thermodynamik und Statistischen Physik werden vorausgesetzt.

**Qualifikationsziele:**

Die Studierenden sollen die Konzepte zur Beschreibung der elektronischen Eigenschaften von Festkörpern kennen lernen, insbesondere bei starken Elektron-Elektron und magnetischen Wechselwirkungen, sowie die wichtigsten experimentellen Methoden, auf deren Basis diese Konzepte erstellt bzw. verifiziert werden.

**Inhalt:**

The lecture will be in English!

1. Phasenübergänge
2. Metalle und Isolatoren
3. Atomarer Magnetismus und magnetische Wechselwirkungen
4. Magnetische Strukturen
5. Konventionelle und unkonventionelle Supraleitung

**Literatur:**

N. W. Ashcroft, N. D. Mermin: Solid state physics

H. Ibach, H. Lüth: Festkörperphysik

C. Kittel: Introduction to solid state physics

S. Blundell: Magnetism in Condensed Matter

R. Gross, A. Marx, Festkörperphysik

**Leistungsnachweis:**

Falls dieses Modul Teil des Schwerpunkt- oder Ergänzungsfachs ist, werden die Leistungspunkte durch die zugehörige Prüfung (mündlich, schriftlich oder anderer Art) erworben. Ansonsten müssen die Übungen, Computerübungen, Praktika oder ggf. Abschlussvorträge erfolgreich absolviert werden.

**Notenbildung:**

Entsprechend den Regeln der Prüfungsordnung und des Studienplans je nach Verwendung als Schwerpunkt-, Ergänzungs- oder Nebenfach.

# **Modul: Quantum Machines: Design and Implementation in solid state devices**

**Lehrveranstaltungsnummer:** 4021021

**Modulverantwortliche:** Ustinov, Alexey; Pop, Ioan

**Einordnung in Studiengang:**

Master Physik, Themenfeld/er: Kondensierte Materie, Nanophysik

**Level:** Master (4)

**Leistungspunkte:** 8

**Semesterwochenstunden:** 4 (v2u2)

**Arbeitsaufwand:**

240 Stunden bestehend aus Präsenzzeiten (60 Stunden), Nachbereitung der Vorlesung inkl. Prüfungsvorbereitung und Bearbeitung der Übungen (180 Stunden).

**Modulturnus:** WS

**Moduldauer:** Ein Semester

**Lehr- und Lernformen:**

4021021 Vorlesung 2 SWS; A.V. Ustinov; I. Pop

4021022 Übungen 2 SWS; A.V. Ustinov; I. Pop

**Voraussetzungen:** keine

**Bedingungen:** keine

**Empfehlungen:** Grundlagenkenntnisse der Quantenmechanik

**Qualifikationsziele:**

Following the first demonstration of a coherent superconducting circuit, almost 20 years ago, the field of quantum information processing using superconducting quantum bits has witnessed an exponential growth. The current performances suggest that within a horizon of a few years, superconducting quantum machines could outperform even the best classical machines for a few types of particularly hard tasks. During this class, the students will acquire a basic understanding of the principles of quantum information processing and the functioning of computers based on quantum bits (qubits), with an emphasis on experimental implementations using superconducting circuits and cavities. The supporting problem sets will cover in detail a broad set of calculations, from derivations of basic results, to solving practical problems one could encounter in a research laboratory.

**Inhalt:**

After a general introduction to the concepts of quantum information processing, we will present an overview of different experimental implementations. We will then focus on the quantization of superconducting circuits and the functioning of different types of superconducting qubits. We will discuss sources of loss and dephasing, and we will mention several strategies to increase the coherence of superconducting qubits. During the last few lectures, we will focus on advanced topics such as circuit quantum electrodynamics (cQED) and quantum optics in the microwave domain.

**Literatur:** Wird in der Vorlesung genannt

**Leistungsnachweis:**

Falls dieses Modul Teil des Schwerpunkt- oder Ergänzungsfachs ist, werden die Leistungspunkte durch die zugehörige Prüfung (mündlich, schriftlich oder anderer Art) erworben. Ansonsten müssen die Übungen, Computerübungen, Praktika oder ggf. Abschlussvorträge erfolgreich absolviert werden.

**Notenbildung:**

Entsprechend den Regeln der Prüfungsordnung und des Studienplans je nach Verwendung als Schwerpunkt-, Ergänzungs- oder Nebenfach.

# Modul: Elektronenmikroskopie II

**Lehrveranstaltungsnummer:** 4027021

**Modulverantwortliche:** Gerthsen, Dagmar

**Einordnung in Studiengang:**

Master Physik, Themenfeld/er: Kondensierte Materie, Nanophysik

**Level:** Master (4)

**Leistungspunkte:** 8 (Vorlesung 4, praktische Übung 4)

**Semesterwochenstunden:**

4 (v2u2) oder 2 (v2u0); 2 pro Woche für die Vorlesung und insgesamt 24 Stunden pro Semester für die Praktikumsversuche.

**Arbeitsaufwand:**

240 Stunden: Präsenzzeiten 54 Stunden, davon 30 Stunden für die Vorlesung und 24 Stunden für die Praktikumsversuche. Die restlichen Stunden dienen der Vorbereitung auf die Versuche, Anfertigung von Praktikumsprotokolle, Nachbereitung des Vorlesungsstoffes und der Vorbereitung auf die Prüfung.

**Modulturnus:** jedes 2. Semester (z. Zt. WS)

**Moduldauer:** Ein Semester

**Lehr- und Lernformen:**

4027021 Vorlesung, 2 SWS; D. Gerthsen

4027022 Übungen, 2 SWS; D. Gerthsen und Mitarbeiter

**Voraussetzungen:**

keine, die Vorlesungen Elektronenmikroskopie I und II sind unabhängig voneinander

**Bedingungen:** keine

**Empfehlungen:**

Grundkenntnisse Optik, Festkörperphysik, Materialphysik und Werkstoffkunde

**Lernziele:**

Die Studierenden sollen die Bildentstehung in der Rasterelektronenmikroskopie und Rasterionenmikroskopie, Nanostrukturierung mit fokussierten Ionenstrahlen sowie analytische Verfahren in der Elektronenmikroskopie (chemische Analyse, elektronische Eigenschaften) verstehen und erklären können. Anhand von Anwendungsbeispielen aus der Material- und Festkörperphysik sollen Einsatzmöglichkeiten und Grenzen der Verfahren erkannt werden. Die Studierenden sollen beurteilen können, welche Methode(n) für spezifische Fragestellungen aus der Mikro- und Nanocharakterisierung geeignet ist (sind).

In den Praktischen Übungen werden die theoretischen Konzepte aus der Vorlesung sowie Abbildungsmodi in der Rasterelektronenmikroskopie und Rasterionenmikroskopie durch Arbeit in kleinen Gruppen visualisiert, geübt und vertieft. Die Studierenden sollen in der Lage sein, ein Rasterelektronenmikroskop für einfache Anwendungen zu justieren.

**Inhalt:**

Rasterelektronenmikroskopie, Abbildung und Strukturierung mit fokussierten Ionenstrahlen, analytische Verfahren in der Elektronenmikroskopie (energiedispersive Röntgenspektroskopie und Elektronenenergieverlustspektroskopie)

**Literatur:** Wird in der Vorlesung benannt

**Leistungsnachweis:**

Falls dieses Modul Teil des Schwerpunkt- oder Ergänzungsfachs ist, werden die Leistungspunkte durch die zugehörige Prüfung (mündlich, schriftlich oder anderer

Art) erworben. Ansonsten müssen die Übungen, Computerübungen, Praktika oder ggf. Abschlussvorträge erfolgreich absolviert werden.

**Notenbildung:**

Entsprechend den Regeln der Prüfungsordnung und des Studienplans je nach Verwendung als Schwerpunkt-, Ergänzungs- oder Nebenfach.

# **Modul: Beschleunigerphysik II: Synchrotronstrahlungsquellen**

**Lehrveranstaltungsnummer:** 4028011

**Modulverantwortliche:** Bernhard, Axel; Müller, Anke-Susanne

**Einordnung in Studiengang:**

Master Physik, Themenfeld/er: Kondensierte Materie

**Level:** Master

**Leistungspunkte:** 6

**Semesterwochenstunden:** 3 (v2u1)

**Arbeitsaufwand:**

180 Stunden bestehend aus Präsenzzeiten (45 Stunden), Nachbereitung der Vorlesung inkl. Prüfungsvorbereitung und Bearbeitung der Übungen (135 Stunden).

**Modulturnus:** WS

**Moduldauer:** Ein Semester

**Lehr- und Lernformen:**

4028011 Vorlesung, 2 SWS; A. Bernhard; A.-S. Müller

4028012 Übung, 1 SWS; J. Gethmann; A.-S. Müller

**Voraussetzungen:** keine

**Bedingungen:** keine

**Empfehlungen:**

Grundlagenkenntnisse in der Elektrodynamik werden vorausgesetzt; Vorkenntnisse aus der Beschleunigerphysik 1 sind nützlich.

**Qualifikationsziele:**

Nach Besuch der Veranstaltung können Sie die wesentlichen Eigenschaften der Synchrotronstrahlung darstellen und die physikalischen Grundlagen sowie die wichtigsten technische Konzepte zu ihrer Erzeugung beschreiben. Sie sind in der Lage, die wichtigsten Kenngrößen der Strahlungscharakteristik einer gegebenen Synchrotronstrahlungsquelle zu berechnen. Sie können Konzepte zur Beschreibung der Wechselwirkung zwischen Teilchenensemble und der von ihnen erzeugten Strahlung im Beschleuniger darstellen. Auf dieser Grundlage sind Sie in der Lage, Kriterien für die Optimierung von Beschleunigern für die Strahlungserzeugung aufzustellen sowie die Funktionsweise des Freie-Elektronen-Lasers zu beschreiben.

**Inhalt:**

Physik der Synchrotronstrahlung (Elektrodynamik bewegter Punktladungen, Eigenschaften der normalen Synchrotronstrahlung)

Wiggler und Undulatoren (Physik und Eigenschaften der Undulatorstrahlung, magnetologische und strahldynamische Aspekte)

Strahldynamik unter Einfluss von Synchrotronstrahlung (Hamiltonsche Formulierung der Strahldynamik, Hamilton-Vielteilchensysteme, Vlasov- und Fokker-Planck-Gleichung, Strahlungsdämpfung und -anregung)

Freie-Elektronen-Laser

**Literatur (Auswahl):**

H. Wiedemann: Particle Accelerator Physics 1&2, Springer, 3. Aufl., 2003

A. Hofmann: The Physics of Synchrotron Radiation, Cambridge Univ. Press, 2004

P. Schmüser, M. Dohlus, J. Rossbach, Ultraviolet and Soft X-Ray Free Electron Lasers, Springer, 2010

**Leistungsnachweis:**

Falls dieses Modul Teil des Schwerpunkt- oder Ergänzungsfachs ist, werden die Leistungspunkte durch die zugehörige Prüfung (mündlich, schriftlich oder anderer Art) erworben. Ansonsten müssen die Übungen, Computerübungen, Praktika oder ggf. Abschlussvorträge erfolgreich absolviert werden.

**Notenbildung:**

Entsprechend den Regeln der Prüfungsordnung und des Studienplans je nach Verwendung als Schwerpunkt-, Ergänzungs- oder Nebenfach.

# **Modul: Modern X-ray Physics I: Coherent X-ray Imaging and Scattering**

**Lehrveranstaltungsnummer:** 4028061

**Modulverantwortliche:** Baumbach, Tilo

**Einordnung in Studiengang:**

Master Physik, Themenfelder: Nanophysik, Optik und Photonik, Kondensierte Materie

**Level:** Master (4)

**Leistungspunkte:** 10 oder 8

**Semesterwochenstunden:** 6 (v2u2p2) oder 4 (v2u2p0)

**Arbeitsaufwand:**

300 bzw. 240 Stunden bestehend aus Präsenzzeiten (75 bzw 60 Stunden), Nachbereitung der Vorlesung inkl. Prüfungsvorbereitung und Bearbeitung der Übungen und des Praktikums (225 bzw. 180 Stunden).

**Modulturnus:** WS

**Moduldauer:** Ein Semester

**Lehr- und Lernformen:**

4028061 Vorlesung, 2 SWS; Baumbach, Tilo

4028062 Übung, 2 SWS; Baumbach, Tilo

4028063 Praktikum, 2 SWS; Baumbach, Tilo

**Voraussetzungen:** keine

**Bedingungen:** keine

**Empfehlungen:**

Grundlagen der klassischen Elektrodynamik, Optik, Quantenmechanik und Basiswissen zur Festkörperphysik

**Qualifikationsziele:**

Der/die Studierende soll in die Grundbegriffe der Röntgenphysik als Vertiefung von Themen der Wellenoptik und der Kondensierten Materie eingeführt werden. Er/Sie soll die physikalischen und instrumentellen Grundlagen moderner im Ortsraum und im reziproken Raum abbildender Röntgenmessmethoden verstehen und anwenden lernen.

Die Vorlesung und die Übungen stellen darüber hinaus die Verbindungen zu wichtigen Anwendungsgebieten dieser Methoden her. Die Übungen sollen die Studierenden befähigen, Röntgenexperimente an Großgeräten vorzubereiten und mittels konkreter experimenteller Gruppenarbeit das in der Vorlesung gewonnene Wissen anzuwenden.

**Inhalt:**

Einführung in die moderne Röntgenphysik. Die Vorlesung schlägt eine Brücke von den physikalischen Grundlagen zu modernen Röntgenmethoden für Physiker, und gibt einen Überblick über wichtige gegenwärtige Anwendungsfelder:

- Theoretische und experimentelle Grundlagen zur Röntgenoptik und Röntgenanalytik, insbesondere Röntgenbeugung und -streuung.
- Moderne Instrumentierung im Röntgenlabor und an physikalischen Großgeräten (an Synchrotronspeicherringen, Freien Elektronenlasern).
- Anwendungsbeispiele aus der Kristallographie und den Nanowissenschaften
- Die Übungen enthalten optional die Möglichkeit der betreuten Durchführung von drei Experimenten an modernsten Röntgengeräten der Nationalen Synchrotronstrahlungsanlage ANKA am KIT CN.

**Literatur:**

J. Als-Nielsen, D. McMorrow: Elements of Modern X-Ray Physics, John Wiley & Sons, Ltd

M. Born und E. Wolf; Principles of optics: Electromagnetic theory of propagation, interference and diffraction of light, Cambridge University Press (2006, 7th edition)

J. M. Cowley; Diffraction physics, Elsevier (1995)

**Leistungsnachweis:**

Falls dieses Modul Teil des Schwerpunkt- oder Ergänzungsfachs ist, werden die Leistungspunkte durch die zugehörige Prüfung (mündlich, schriftlich oder anderer Art) erworben. Ansonsten müssen die Übungen, Computerübungen, Praktika oder ggf. Abschlussvorträge erfolgreich absolviert werden.

**Notenbildung:**

Entsprechend den Regeln der Prüfungsordnung und des Studienplans je nach Verwendung als Schwerpunkt-, Ergänzungs- oder Nebenfach.

# Modul: Modern X-ray Physics II: Condensed Matter Physics with Synchrotron Radiation

**Lehrveranstaltungsnummer:** 4028071

**Modulverantwortliche:** Baumbach Tilo; Stankov, Svetoslav

**Einordnung in Studiengang:**

Master Physik, Themenfeld/er: Kondensierte Materie, Nanophysik

**Level:** Master (4)

**Leistungspunkte:** 8

**Semesterwochenstunden:** 4 (v2u2)

**Arbeitsaufwand:**

240 Stunden bestehend aus Präsenzzeiten (60 Stunden), Nachbereitung der Vorlesung inkl. Prüfungsvorbereitung und Bearbeitung der Übungen (180 Stunden).

**Modulturnus:** WS

**Moduldauer:** Ein Semester

**Lehr- und Lernformen:**

4028071 Vorlesung 2 SWS; Stankov, Svetoslav, Baumbach Tilo

4028072 Übung 2 SWS; Stankov, Svetoslav, Pradip, Ramu

**Voraussetzungen:** keine

**Bedingungen:** keine

**Empfehlungen:**

Grundlagenkenntnisse der Festkörperphysik, Quantenmechanik und der Thermodynamik werden vorausgesetzt.

**Qualifikationsziele:**

Der Studierende soll in die Grundbegriffe der Kernresonanz-Streuung mit Synchrotronstrahlung eingeführt werden. Er soll die physikalischen und instrumentellen Grundlagen spektroskopischer Röntgenmessmethoden verstehen und lernen sie auf festkörperphysikalische Fragestellungen der Nanowissenschaften (Magnetismus, Diffusion und Gitterdynamik) anzuwenden.

**Inhalt:**

Die Vorlesung schlägt eine Brücke zwischen der Festkörperphysik und den auf Kernresonanzstreuung basierenden Methoden für die Untersuchung elektronischer und magnetischer Schwingungen, Gitterschwingungen und Diffusionsphänomenen in dünnen Filmen und Nanostrukturen. Die folgenden Themen werden vorgestellt und diskutiert: Eine kurze Einführung in die Theorie der Synchrotronstrahlung, Röntgenoptiken, Detektoren und Elektronik; Kernresonanzstreuung der Synchrotronstrahlung; Hyperfinwechselwirkungen, Gitterschwingungen und atomare Diffusion untersucht mittels *in situ* Kernresonanzstreuung.

**Literatur:**

D. Attwood "Soft X-Rays and Extreme Ultraviolet Radiation: Principles and Applications", Cambridge University Press 1999

R. Röhlberger "Nuclear Condensed Matter Physics with Synchrotron Radiation" Springer Tracts in Modern Physics, Vol. 208, Springer, Berlin 2004

S. Stankov et al. "In-situ Mössbauer spectroscopy with synchrotron radiation on thin films", a book chapter in "Mössbauer Spectroscopy: Applications in Chemistry, Biology, Industry, and Nanotechnology", ed. V. K. Sharma, G. Klingelhofer and T. Nishida, John Wiley & Sons 2013

**Leistungsnachweis:**

Falls dieses Modul Teil des Schwerpunkt- oder Ergänzungsfachs ist, werden die Leistungspunkte durch die zugehörige Prüfung (mündlich, schriftlich oder anderer Art) erworben. Ansonsten müssen die Übungen, Computerübungen, Praktika oder ggf. Abschlussvorträge erfolgreich absolviert werden.

**Notenbildung:**

Entsprechend den Regeln der Prüfungsordnung und des Studienplans je nach Verwendung als Schwerpunkt-, Ergänzungs- oder Nebenfach.

# Modul: Grundlagen der Nanotechnologie I

**Lehrveranstaltungsnummer:** 4021041

**Modulverantwortliche:** Goll, Gernot

**Einordnung in Studiengang:**

Master Physik, Themenfeld/er: Nanophysik

**Level:** Master (4)

**Leistungspunkte:** 4

**Semesterwochenstunden:** 2 (v2u0)

**Arbeitsaufwand:**

120 Stunden bestehend aus Präsenzzeiten (30 Stunden), Nachbereitung der Vorlesung inkl. Prüfungsvorbereitung und Bearbeitung der Übungen (90 Stunden).

**Modulturnus:** WS

**Moduldauer:** Ein Semester

**Lehr- und Lernformen:**

4021041 Vorlesung, 2 SWS; G. Goll

**Voraussetzungen:** keine

**Bedingungen:** keine

**Empfehlungen:**

Grundlagenkenntnisse der Festkörperphysik und der Quantenmechanik werden erwartet.

**Qualifikationsziele:**

Der Studierende vertieft sein Wissen auf einem Gebiet der Nanophysik, beherrscht die relevanten theoretischen Konzepte und ist mit grundlegenden Techniken und Messmethoden der Nano-Analytik und der Lithographie vertraut.

**Inhalt:**

Einführung in zentrale Gebiete der Nanotechnologie;

Vermittlung der konzeptionellen, theoretischen und insbesondere methodischen Grundlagen:

- Methoden der Abbildung und Charakterisierung (Nanoanalytik) Grundlegende Konzepte der Elektronenmikroskopie und der damit verbundenen analytischen Möglichkeiten werden einführend behandelt. Rastersondenverfahren wie die Tunnel- und die Kraftmikroskopie zur Untersuchung und Abbildung leitfähiger bzw. isolierender Probenoberflächen werden diskutiert. Ergänzend werden spektroskopische Möglichkeiten der Rastersondenverfahren erläutert.
- Methoden der Herstellung von Nanostrukturen (Lithographie und Selbstorganisation) Entlang der einzelnen Prozessschritte von der Belackung über die Belichtung bis hin zur Strukturübertragung durch Ätzen und Bedampfen werden die eingesetzten Methoden erläutert, deren Einsatzgrenzen diskutiert und aktuelle Entwicklungen aufgezeigt.

Die Vorlesung „Nanotechnologie II“ behandelt im Sommersemester Anwendungsgebiete und aktuelle Forschungsthemen.

**Literatur:**

Zur Nachbereitung und Vertiefung des Vorlesungsstoffes wird auf verschiedene Lehrbücher sowie Original- und Übersichtsartikel verwiesen. Eine ausführliche Liste wird in der Vorlesung genannt.

**Leistungsnachweis:**

Falls dieses Modul Teil des Schwerpunkt- oder Ergänzungsfachs ist, werden die Leistungspunkte durch die zugehörige Prüfung (mündlich, schriftlich oder anderer Art) erworben. Ansonsten müssen die Übungen, Computerübungen, Praktika oder ggf. Abschlussvorträge erfolgreich absolviert werden.

**Notenbildung:**

Entsprechend den Regeln der Prüfungsordnung und des Studienplans je nach Verwendung als Schwerpunkt-, Ergänzungs- oder Nebenfach.

# Modul: Supraleiter-Nanostrukturen

**Lehrveranstaltungsnummer:** 4021031

**Modulverantwortliche:** Beckmann, Detlef

**Einordnung in Studiengang:**

Master Physik, Themenfeld/er: Kondensierte Materie, Nanophysik

**Level:** Master (4)

**Leistungspunkte:** 6

**Semesterwochenstunden:** 3 (v2u1)

**Arbeitsaufwand:**

180 Stunden bestehend aus Präsenzzeiten (45 Stunden), Nachbereitung der Vorlesung inkl. Prüfungsvorbereitung und Bearbeitung der Übungen (135 Stunden).

**Modulturnus:** WS

**Moduldauer:** Ein Semester

**Lehr- und Lernformen:**

4020021 Vorlesung, 2 SWS; D. Beckmann

4020022 Übung, 1 SWS; D. Beckmann

**Voraussetzungen:** keine

**Bedingungen:** keine

**Empfehlungen:**

Grundlagenkenntnisse der Festkörperphysik, Quantenmechanik und der Thermodynamik werden vorausgesetzt.

**Qualifikationsziele:**

Der Studierende soll in die Grundbegriffe der Supraleitung eingeführt werden, und deren Anwendung auf Transporteigenschaften in Nanostrukturen verstehen. In der Übung soll der Studierende konkrete Probleme aus diesem Themenfeld lösen unter Anwendung des in der Vorlesung vermittelten Faktenwissens.

**Inhalt:**

In der Vorlesung werden zunächst die Grundlagen der Supraleitung besprochen (BCS-Theorie). Diese werden angewandt auf elektronische Transporteigenschaften von Nanostrukturen, deren Abmessungen mit der Kohärenzlänge der Supraleitung vergleichbar sind. Dabei werden die wesentlichen Transportprozesse (Tunneln, Andreevreflexion, Josephson-Effekt) behandelt, die Konkurrenz von Supraleitung mit anderen Grundzuständen (normales Metall, Ferromagnet) diskutiert (Proximity-Effekt), und deren Wechselspiel in komplexen Nanostrukturen beleuchtet. Die Grundlagen werden durch zahlreiche Beispiele aus der aktuellen Forschung illustriert.

**Literatur:** Wird in der Vorlesung genannt.

**Leistungsnachweis:**

Falls dieses Modul Teil des Schwerpunkt- oder Ergänzungsfachs ist, werden die Leistungspunkte durch die zugehörige Prüfung (mündlich, schriftlich oder anderer Art) erworben. Ansonsten müssen die Übungen, Computerübungen, Praktika oder ggf. Abschlussvorträge erfolgreich absolviert werden.

**Notenbildung:**

Entsprechend den Regeln der Prüfungsordnung und des Studienplans je nach Verwendung als Schwerpunkt-, Ergänzungs- oder Nebenfach.

# **Modul: Nanomagnetism, Quantummagnetism and Spin Bath Physics**

**Lehrveranstaltungsnummer:** 4021051

**Modulverantwortliche:** Wernsdorfer, Wolfgang

**Einordnung in Studiengang:**

Master Physik, Themenfeld/er: Kondensierte Materie

**Level:** Master (4)

**Leistungspunkte:** 4

**Semesterwochenstunden:** 2(v2u0)

**Arbeitsaufwand:**

120 Stunden bestehend aus Präsenzzeiten (30 Stunden), Nachbereitung der Vorlesung inkl. Prüfungsvorbereitung und Bearbeitung der Übungen (90 Stunden).

**Modulturnus:** WS

**Moduldauer:** Ein Semester

**Lehr- und Lernformen:**

4021051 Vorlesung, 2 SWS; W. Wernsdorfer

**Voraussetzungen:** keine

**Bedingungen:** keine

**Empfehlungen:**

Grundlegende Kenntnisse in klassischem Elektromagnetismus, Quantenmechanik, Festkörperphysik

**Qualifikationsziele:**

Die Studierenden erarbeiten Wissen auf dem Gebiet des Nanomagnetismus und Quantenmagnetismus, lernen grundlegende Konzepte zur Beschreibung von Spin-Systemen und deren Dynamik, und erlangen Einblick in den aktuellen Stand der Forschung.

**Inhalt:**

Nanomagnetismus, single magnetic particle measurement techniques, mechanisms of magnetization reversal, influence of temperature on the magnetization reversal, Neel-Brown model, spin Hamiltonians, pin-lattice relaxation, molecular magnetism, magnetization reversal by quantum tunneling, Landau-Zener tunneling, quantum phase interference, semiclassical descriptions, quantum dots, molecular quantum spintronics, quantum spin chains, spin qubits, spin bath physics, environmental decoherence effects.

**Literatur:** Wird in der Vorlesung genannt.

**Leistungsnachweis:**

Falls dieses Modul Teil des Schwerpunkt- oder Ergänzungsfachs ist, werden die Leistungspunkte durch die zugehörige Prüfung (mündlich, schriftlich oder anderer Art) erworben. Ansonsten müssen die Übungen, Computerübungen, Praktika oder ggf. Abschlussvorträge erfolgreich absolviert werden.

**Notenbildung:**

Entsprechend den Regeln der Prüfungsordnung und des Studienplans je nach Verwendung als Schwerpunkt-, Ergänzungs- oder Nebenfach.

# Modul: Nano-Optics

**Lehrveranstaltungsnummer:** 4020021

**Modulverantwortliche:** Naber, Andreas

**Einordnung in Studiengang:**

Master Physik, Themenfeld/er: Optik und Photonik, Nanophysik

**Level:** Master (4)

**Leistungspunkte:** 8

**Semesterwochenstunden:** 4 (v3u1)

**Arbeitsaufwand:**

240 Stunden bestehend aus Präsenzzeiten (60 Stunden), Nachbereitung der Vorlesung inkl. Prüfungsvorbereitung und Bearbeitung der Übungen (180 Stunden).

**Modulturnus:** WS

**Moduldauer:** Ein Semester

**Lehr- und Lernformen:**

4020021 Vorlesung, 3 SWS; A. Naber

4020022 Übung, 1 SWS; A. Naber

**Voraussetzungen:** keine

**Bedingungen:** keine

**Empfehlungen:** Grundlagenkenntnisse in Optik

**Qualifikationsziele:**

The students

- improve their understanding of general principles in electrodynamics and optics
- have a deeper understanding of the theoretical background in optical imaging and its relation to phenomena on a nanoscale
- are familiar with conventional techniques in optical microscopy and make use of their knowledge for the understanding of nano-optical methods
- realize the necessity of completely new experimental concepts to overcome the constraints of classical microscopy in the exploration of optical phenomena beyond the diffraction limit
- understand the basics of different experimental approaches for optical imaging on a nanoscale
- are able to discuss pros and cons of these techniques for applications in different fields of physics and biology
- are aware of the importance of nano-optical methods for the elucidation of long-standing interdisciplinary issues

**Inhalt:**

The lecture gives an introduction to theory and instrumentation of advanced methods in optical microscopy. Emphasis is laid on far- and near-field optical techniques with an optical resolution capability on a 10- to 100-nm-scale which is well below the principal limit of classical microscopy. Applications from different scientific disciplines are discussed (e.g., nano-antennas, single-molecule detection, plasmon-polariton propagation on metal surfaces, imaging of biological cell compartments including membranes).

**Literatur:** Wird in der Vorlesung genannt.

**Leistungsnachweis:**

Falls dieses Modul Teil des Schwerpunkt- oder Ergänzungsfachs ist, werden die Leistungspunkte durch die zugehörige Prüfung (mündlich, schriftlich oder anderer Art) erworben. Ansonsten müssen die Übungen, Computerübungen, Praktika oder ggf. Abschlussvorträge erfolgreich absolviert werden.

**Notenbildung:**

Entsprechend den Regeln der Prüfungsordnung und des Studienplans je nach Verwendung als Schwerpunkt-, Ergänzungs- oder Nebenfach.

# Modul: Elektronenoptik

**Lehrveranstaltungsnummer:** 4027031

**Modulverantwortliche:** Haider, Maximilian; Janzen, Roland

**Einordnung in Studiengang:** Master Physik, Themenfeld/er: Nanophysik

**Level:** Master (4)

**Leistungspunkte:** 6 oder 4

**Semesterwochenstunden:** 3 (v2u1) oder 2 (v2u0)

**Arbeitsaufwand:**

180 bzw. 120 Stunden bestehend aus Präsenzzeiten (45 bzw. 30 Stunden), Nachbereitung der Vorlesung inkl. Prüfungsvorbereitung und Bearbeitung der Übungen (135 bzw. 90 Stunden).

**Modulturnus:** SS und WS

**Moduldauer:** Ein Semester

**Lehr- und Lernformen:**

4027031 Vorlesung, 2 SWS; M. Haider, R. Janzen

4027032 Übung, 1 SWS; R. Janzen

**Voraussetzungen:** keine

**Bedingungen:** keine

**Empfehlungen:**

Grundlagenkenntnisse der Elektrodynamik, der klassischen Mechanik und der speziellen Relativitätstheorie werden vorausgesetzt.

**Qualifikationsziele:**

Die Studierenden kennen die Grundbegriffe der Elektronenoptik und können die relevanten theoretischen Konzepte formulieren und anwenden. Sie verstehen die Funktionsweise von Elektronenmikroskopen und Aberrations-Korrektoren. In der Übung lösen die Studierenden konkrete Probleme der Elektronenoptik eigenverantwortlich unter Anwendung des in der Vorlesung vermittelten Faktenwissens. Auf dieser Basis werden die Studierenden befähigt, publizierte Ergebnisse aus dem Bereich der Elektronenoptik zu verstehen und sich selbstständig in eventuell zum Verständnis noch fehlende Details einzuarbeiten.

**Inhalt:**

Funktions- und Aufbau-Prinzipien von Elektronenmikroskopen,  
Grundlagen der bildgebenden Verfahren im Elektronenmikroskop,  
Einführung in die Elektronenoptik,  
Einführung in die Aberrationstheorie.

**Literatur:** Wird in der Vorlesung bekannt gegeben.

**Leistungsnachweis:**

Falls dieses Modul Teil des Schwerpunkt- oder Ergänzungsfachs ist, werden die Leistungspunkte durch die zugehörige Prüfung (mündlich, schriftlich oder anderer Art) erworben. Ansonsten müssen die Übungen, Computerübungen, Praktika oder ggf. Abschlussvorträge erfolgreich absolviert werden.

**Notenbildung:**

Entsprechend den Regeln der Prüfungsordnung und des Studienplans je nach Verwendung als Schwerpunkt-, Ergänzungs- oder Nebenfach.

# Modul: Quantum Optics

**Lehrveranstaltungsnummer:** 4023011

**Modulverantwortliche:** Rockstuhl, Carsten

**Einordnung in Studiengang:**

Master Physik, Themenfeld/er: Optik und Photonik, Nanophysik, Theorie der Kondensierten Materie

**Level:** Master (4)

**Leistungspunkte:** 6

**Semesterwochenstunden:** 3 (v2u1)

**Arbeitsaufwand:**

180 Stunden bestehend aus Präsenzzeiten (45), Nachbereitung der Vorlesung inkl. Prüfungsvorbereitung und Bearbeitung der Übungen (135).

**Modulturnus:** WS

**Moduldauer:** Ein Semester

**Lehr- und Lernformen:**

4023011. Vorlesung, 2 SWS; C. Rockstuhl, C. Lee

4023012 Übung, 1 SWS; C. Rockstuhl, C. Lee

**Voraussetzungen:** keine

**Bedingungen:** keine

**Empfehlungen:**

Interest in theoretical physics, good knowledge in quantum mechanics and electrodynamics/optics

**Qualifikationsziele:**

The students shall learn to appreciate that quantum optics has been a framework to understand properties of light, which can by no means described with a classical theory, shall learn how to apply various methods from quantum mechanics to specific situation of quantum optics in general and to the description of the light-matter-interaction in specific, shall learn that there are fascinating opportunities to study with micro- and nanooptical systems various quantum optical phenomena, and shall appreciate that even though much of the current research is done out of intellectual curiosity, there are many application perspectives that promise to have a notable impact to our daily life.

**Inhalt:**

Quantization of the electromagnetic field. Various quantum states of light fields: optical photon-number, coherent, squeezed, Schrödinger's cat states. Classical and quantum coherence theory: photon bunching and antibunching. Quantum description of optical interferometry: Mach-Zehnder interferometer with photons. General description of open quantum system: master equation, Heisenberg-Langevin, and stochastic approaches. Optical test of quantum mechanics: Hong-Ou-Mandel, quantum eraser, and Bell's theorem experiments. Interaction of a single atom with a classical or a quantum field. From Rabi model to Jaynes-Cummings model: the most simplest model to describe the light-matter interaction. Quantum master equation approach: description of finite life time of atoms. Weak and strong couplings (spontaneous emission, Purcell effect, resonance fluorescence, lasers, and Rabi oscillation). Interaction of an ensemble of atoms with a quantum field (Dicke and Tavis-Cummings models, and superradiance). Quantum optical applications (quantum cryptography, quantum teleportation, quantum metrology, etc.).

**Literatur:**

C. Gerry and P. Knight, *Introductory Quantum Optics*.

M. O. Scully and M. S. Zubairy, *Quantum Optics*.

M. Fox, *Quantum Optics: An Introduction*.

R. Loudon, *The Quantum Theory of Light*.

D.F. Walls and G. J. Milburn, *Quantum Optics*.

P. Meystre and M. Sargent, *Elements of Quantum Optics*.

W. Schleich, *Quantum Optics in Phase Space*.

**Leistungsnachweis:**

Falls dieses Modul Teil des Schwerpunkt- oder Ergänzungsfachs ist, werden die Leistungspunkte durch die zugehörige Prüfung (mündlich, schriftlich oder anderer Art) erworben. Ansonsten müssen die Übungen, Computerübungen, Praktika oder ggf. Abschlussvorträge erfolgreich absolviert werden.

**Notenbildung:**

Entsprechend den Regeln der Prüfungsordnung und des Studienplans je nach Verwendung als Schwerpunkt-, Ergänzungs- oder Nebenfach.

# Modul: Teilchenphysik I

**Lehrveranstaltungsnummer:** 4022031

**Modulverantwortlicher:** Husemann, Ulrich

**Einordnung in Studiengang:**

Physik (Master), Themenfeld/er: Experimentelle Teilchenphysik

**Level:** Master (4)

**Leistungspunkte:** 8

**Semesterwochenstunden:** 4 (v3p2)

**Arbeitsaufwand:**

240 Stunden bestehend aus Präsenzzeiten (60 Stunden), Nachbereitung der Vorlesung inkl. Prüfungsvorbereitung und Bearbeitung der Übungen und des Praktikums (180 Stunden).

**Modulturnus:** WS

**Moduldauer:** Ein Semester

**Lehr- und Lernformen:**

4022031 Vorlesung 3 SWS; U. Husemann

4022032 Praktikum 2 SWS; U. Husemann, M. Schröder

**Voraussetzungen:** keine

**Bedingungen:** keine

**Empfehlungen:**

Grundkenntnisse der experimentellen Teilchenphysik aus der Vorlesung Moderne Experimentalphysik III im Bachelorstudiengang Physik.

**Qualifikationsziele:**

Die Studierenden können Elementarteilchen klassifizieren und mithilfe von Symmetrien, Feynman-Diagrammen und Lagrangedichten qualitativ Wechselwirkungen zwischen Elementarteilchen analysieren. Durch die Kombination dieser Kenntnisse mit Wissen über den Nachweis von Elementarteilchen können die Studierenden die Funktionsweise moderner Teilchenphysikdetektoren diskutieren.

Die Studierenden werden befähigt, aktuelle Daten und Abbildungen aus der wissenschaftlichen Literatur zur Teilchenphysik zu interpretieren und den aktuellen Stand der Forschung sowie wichtige „offene Fragen“ darzustellen.

Die Studierenden können Techniken der statistischen Datenanalyse und Monte-Carlo-Simulation auf einfache Probleme der Teilchenphysik anwenden und eine grundlegende Charakterisierung von Silizium-Spurdetektoren im Labor durchführen.

**Inhalt:**

Vorlesung: Grundbegriffe der Teilchenphysik, Detektoren und Beschleuniger, Grundlagen des Standardmodells, Tests der elektroschwachen Theorie, Flavor-Physik, QCD, High- $p_{\{T\}}$ -Physik, Higgs-Physik, Physik massiver Neutrinos, Physik jenseits des Standardmodells.

Praktische Übungen: aktuelle Methoden der Monte-Carlo-Simulation und Datenanalyse in der Teilchenphysik, Messungen an modernen Silizium-Spurdetektoren.

**Literatur:**

M. Thomson: Modern Particle Physics, Cambridge University Press (2013).

D. Griffith: Introduction to Elementary Particles, Wiley (2008).

A. Bettini: Introduction to Elementary Particle Physics, Cambridge University Press (2008).

C. Berger: Elementarteilchenphysik, Springer (2006).

Weitere Literaturhinweise werden in der Vorlesung gegeben.

**Leistungsnachweis:**

Falls dieses Modul Teil des Schwerpunkt- oder Ergänzungsfachs ist, werden die Leistungspunkte durch die zugehörige Prüfung (mündlich, schriftlich oder anderer Art) erworben. Ansonsten müssen die Übungen, Computerübungen, Praktika oder ggf. Abschlussvorträge erfolgreich absolviert werden.

**Notenbildung:**

Entsprechend den Regeln der Prüfungsordnung und des Studienplans je nach Verwendung als Schwerpunkt-, Ergänzungs- oder Nebenfach.

# **Modul: Teilchenphysik II: Flavourphysik**

**Lehrveranstaltungsnummer:** 4022081

**Modulverantwortliche:** NN; Goldenzweig, Pablo

**Einordnung in Studiengang:**

Master Physik, Themenfeld/er: Experimentelle Teilchenphysik

**Level:** Master (4)

**Leistungspunkte:** 8 oder 6

**Semesterwochenstunden:** 4 (v2u2) oder 3 (v2 u1)

**Arbeitsaufwand:**

240 bzw. 180 Stunden bestehend aus Präsenzzeiten (60 bzw. 35 Stunden), Nachbereitung der Vorlesung inkl. Prüfungsvorbereitung und Bearbeitung der Übungen (180 bzw. 135 Stunden).

**Modulturnus:** WS

**Moduldauer:** Ein Semester

**Lehr- und Lernformen:**

4022081 Vorlesung, 2 SWS; NN, P. Goldenzweig

4022082 Übung, 2 SWS; NN, P. Goldenzweig

**Voraussetzungen:** keine

**Bedingungen:** keine

**Empfehlungen:**

Kenntnisse der experimentellen Teilchenphysik aus der Vorlesung Moderne Experimentalphysik III im Bachelorstudiengang werden vorausgesetzt.

**Qualifikationsziele:**

Wir wollen den Teilnehmern des Kurses mit der Flavourphysik den Schlüssel zu einem besseren Verständnis der fundamentalen Naturgesetze an der Präzisionsfront nahebringen. Dabei soll es sowohl um die zugrunde liegenden Konzepte, als auch um praktische Erfahrungen gehen, die zu einem gelungenen Einstand in die eigene Forschung beitragen.

**Inhalt:**

Teilchenbeschleuniger erlauben, die fundamentalen Bausteine und Kräfte der Natur zu studieren. Neben der Verwendung immer höherer Energien kann das Wissen auf diesem Gebiet auch durch Messungen mit immer höherer Präzision erweitert werden. Solche Präzisionsmessungen werden sowohl am CERN und am Tevatron an Vielzweckexperimenten, wie auch in speziellen Flavour-Fabriken am SLAC oder am KEKB-Beschleuniger in Japan, erfolgreich durchgeführt.

Während der Vorlesung wollen wir experimentelle Methoden und bestimmte Schlüsselprozesse – Mesonenmischung, CP-Verletzung, seltene Zerfälle – vorstellen. In der Übung soll zusätzlich noch auf Handwerkszeug für den Alltag, wie etwa Winkelverteilungen und Quantenzahlen und Informationssysteme im Internet eingegangen werden.

**Literatur:** Wird in der Vorlesung genannt.

**Leistungsnachweis:**

Falls dieses Modul Teil des Schwerpunkt- oder Ergänzungsfachs ist, werden die Leistungspunkte durch die zugehörige Prüfung (mündlich, schriftlich oder anderer Art) erworben. Ansonsten müssen die Übungen, Computerübungen, Praktika oder ggf. Abschlussvorträge erfolgreich absolviert werden.

**Notenbildung:**

Entsprechend den Regeln der Prüfungsordnung und des Studienplans je nach Verwendung als Schwerpunkt-, Ergänzungs- oder Nebenfach.

# Modul: Elektronik für Physiker

**Lehrveranstaltungsnummer:** 4022061

**Modulverantwortliche:** Weber, Marc; Rabbertz, Klaus

**Einordnung in Studiengang:**

Master Physik, Themenfeld/er: Experimentelle Astroteilchenphysik, Experimentelle Teilchenphysik

**Level:** Master (4)

**Leistungspunkte:** 10

**Semesterwochenstunden:** 12 (v4p4)

**Arbeitsaufwand:**

300 Stunden bestehend aus Präsenzzeiten (75 Stunden), Nachbereitung der Vorlesung inkl. Prüfungsvorbereitung und Bearbeitung der Übungen und des Praktikums (225 Stunden).

**Modulturnus:** WS

**Moduldauer:** Ein Semester

**Lehr- und Lernformen:**

4022061 Vorlesung Analogelektronik 2 SWS; M. Weber

4022066 Vorlesung Digitalelektronik 2 SWS; M. Weber

4022067 Praktikum (10 Versuche) 4 SWS; M. Weber, K. Rabbertz

**Voraussetzungen:** keine

**Bedingungen:** keine

**Empfehlungen:** Interesse an Elektronik

**Qualifikationsziele:**

Vertiefung in einem Gebiet der experimentellen Astroteilchenphysik oder Teilchenphysik. Vermittlung eines Grundverständnisses der analogen und digitalen Elektronik und ihrer Anwendung in der experimentellen Physik.

**Inhalt:**

Einführung in die analoge und digitale Elektronik:

- Grundlagen, lineare Netze, passive Bauelemente, Filter,
- elementare Schaltkreisanalyse und -simulation
- Bipolar- und Feldeffekttransistoren
- Grundsaltungen mit einem und zwei Transistoren, Operationsverstärker
- Zahlensysteme, Schaltalgebra, Logikbausteine, Flip-Flops, Speicher
- Analog-Digital-Wandler
- Programmierbare Elektronik: CPLDs, FPGAs
- Aufbau- und Verbindungstechnik

**Literatur:** Literatur wird in der Vorlesung genannt. Außerdem wird ein Skript bereitgestellt.

**Leistungsnachweis:**

Falls dieses Modul Teil des Schwerpunkt- oder Ergänzungsfachs ist, werden die Leistungspunkte durch die zugehörige Prüfung (mündlich, schriftlich oder anderer Art) erworben. Ansonsten müssen die Übungen, Computerübungen, Praktika oder ggf. Abschlussvorträge erfolgreich absolviert werden.

**Notenbildung:**

Entsprechend den Regeln der Prüfungsordnung und des Studienplans je nach Verwendung als Schwerpunkt-, Ergänzungs- oder Nebenfach.

# Modul: Analogelektronik

**Lehrveranstaltungsnummer:** 4022061

**Modulverantwortliche:** Weber, Marc; Rabbertz, Klaus

**Einordnung in Studiengang:**

Master Physik, Themenfeld/er: Experimentelle Astroteilchenphysik, Experimentelle Teilchenphysik

**Level:** Master (4)

**Leistungspunkte:** 6

**Semesterwochenstunden:** 4 (v2p2)

**Arbeitsaufwand:**

180 Stunden bestehend aus Präsenzzeiten (45 Stunden), Nachbereitung der Vorlesung inkl. Prüfungsvorbereitung und Bearbeitung der Übungen und des Praktikums (135 Stunden).

**Modulturnus:** WS

**Moduldauer:** Ein Semester

**Lehr- und Lernformen:**

4022061 Vorlesung Analogelektronik 2 SWS; M. Weber

4022067 Praktikum (7 Versuche) 2 SWS; M. Weber, K. Rabbertz

**Voraussetzungen:** keine

**Bedingungen:** keine

**Empfehlungen:** Interesse an Elektronik

**Qualifikationsziele:**

Vertiefung in einem Gebiet der experimentellen Astroteilchenphysik oder Teilchenphysik. Vermittlung eines Grundverständnisses der analogen und digitalen Elektronik und ihrer Anwendung in der experimentellen Physik.

**Inhalt:**

Einführung in die analoge Elektronik:

- Grundlagen, lineare Netze, passive Bauelemente, Filter
- Elementare Schaltkreisanalyse und –simulation
- Operationsverstärker
- Bipolar- und Feldeffekttransistoren
- Grundschaltungen mit einem und zwei Transistoren
- Aufbau- und Verbindungstechnik

**Literatur:** Literatur wird in der Vorlesung genannt. Außerdem wird ein Skript bereitgestellt.

**Leistungsnachweis:**

Falls dieses Modul Teil des Schwerpunkt- oder Ergänzungsfachs ist, werden die Leistungspunkte durch die zugehörige Prüfung (mündlich, schriftlich oder anderer Art) erworben. Ansonsten müssen die Übungen, Computerübungen, Praktika oder ggf. Abschlussvorträge erfolgreich absolviert werden.

**Notenbildung:**

Entsprechend den Regeln der Prüfungsordnung und des Studienplans je nach Verwendung als Schwerpunkt-, Ergänzungs- oder Nebenfach.

# Modul: Digitalelektronik

**Lehrveranstaltungsnummer:** 4022066

**Modulverantwortliche:** Weber, Marc; Rabbertz, Klaus

**Einordnung in Studiengang:**

Master Physik, Themenfeld/er: Experimentelle Astroteilchenphysik, Experimentelle Teilchenphysik

**Level:** Master (4)

**Leistungspunkte:** 6

**Semesterwochenstunden:** 4 (v2p2)

**Arbeitsaufwand:**

180 Stunden bestehend aus Präsenzzeiten (45 Stunden), Nachbereitung der Vorlesung inkl. Prüfungsvorbereitung und Bearbeitung der Übungen und des Praktikums (135 Stunden).

**Modulturnus:** WS

**Moduldauer:** Ein Semester

**Lehr- und Lernformen:**

4022066 Vorlesung Digitalelektronik 2 SWS; Marc Weber

4022067 Praktikum (7 Versuche) 2 SWS; M. Weber, K. Rabbertz

**Voraussetzungen:** keine

**Bedingungen:** keine

**Empfehlungen:** Interesse an Elektronik

**Qualifikationsziele:**

Vertiefung in einem Gebiet der experimentellen Astroteilchenphysik oder Teilchenphysik. Vermittlung eines Grundverständnisses der analogen und digitalen Elektronik und ihrer Anwendung in der experimentellen Physik.

**Inhalt:**

Einführung in die digitale Elektronik:

- Zahlensysteme
- Schaltalgebra, elementare Logikgatter
- Kombinatorische Logik
- Sequentielle Logik, Flip-Flops
- Speicher
- A/D-Wandler
- Programmierbare Elektronik: CPLDs, FPGAs

**Literatur:** Literatur wird in der Vorlesung genannt. Außerdem wird ein Skript bereitgestellt.

**Leistungsnachweis:**

Falls dieses Modul Teil des Schwerpunkt- oder Ergänzungsfachs ist, werden die Leistungspunkte durch die zugehörige Prüfung (mündlich, schriftlich oder anderer Art) erworben. Ansonsten müssen die Übungen, Computerübungen, Praktika oder ggf. Abschlussvorträge erfolgreich absolviert werden.

**Notenbildung:**

Entsprechend den Regeln der Prüfungsordnung und des Studienplans je nach Verwendung als Schwerpunkt-, Ergänzungs- oder Nebenfach.

# **Modul: Detektoren für Teilchen- und Astroteilchenphysik**

**Lehrveranstaltungsnummer:** 4022071

**Modulverantwortliche:** Müller, Thomas; Hartmann, Frank

**Einordnung in Studiengang:**

Master Physik, Themenfeld/er: Experimentelle Teilchenphysik, Experimentelle Astroteilchenphysik

**Level:** Master (4)

**Leistungspunkte:** 8 oder 6

**Semesterwochenstunden:** 4 (v2p4) oder 3 (v2p2)

**Arbeitsaufwand:**

240 bzw. 180 Stunden bestehend aus Präsenzzeiten (60 bzw. 35 Stunden), Nachbereitung der Vorlesung inkl. Prüfungsvorbereitung und Bearbeitung der Übungen (180 bzw. 135 Stunden).

**Modulturnus:** WS

**Moduldauer:** Ein Semester

**Lehr- und Lernformen:**

4022071 Vorlesung 2 SWS; T. Müller, F. Hartmann

4022072 Praktikum 2 SWS; T. Müller, F. Hartmann

**Voraussetzungen:** keine

**Bedingungen:** keine

**Empfehlungen:**

Grundlagenkenntnisse der experimentellen Kern- und Teilchenphysik, z. B. aus der Vorlesung Moderne Experimentalphysik III im Bachelorstudiengang Physik. Hilfreich sind auch Grundlagen der Elektronik.

**Qualifikationsziele:**

Vertiefung in einem Gebiet der experimentellen Teilchen- und Astroteilchenphysik. Die Studierenden lernen experimentelle Aspekte der Messung von Teilcheneigenschaften. Damit erlernen sie die Grundlagen für eine detaillierte Analyse experimenteller Daten, die Simulation von komplexen Experimenten sowie die Arbeit mit modernen Teilchendetektoren.

**Inhalt:**

Wechselwirkung von Elektronen, Photonen, Myonen, geladenen und neutralen Hadronen mit Materie; elektronischer Nachweis von Teilchenstrahlung und Messung der deponierten Energie sowie Teilchenidentifikation; gasgefüllte Detektoren, Szintillatoren, Photo-Multiplier, Siliziumdetektoren, elektromagnetische und hadronische Kalorimeter, Detektorsysteme, Trigger und Datenerfassung, Rekonstruktion physikalischer Objekte in Detektorsystemen, Anwendungen außerhalb der Grundlagenforschung.

**Literatur:**

K. Kleinknecht: Detektoren für Teilchenstrahlung, Teubner (2005)

W. R. Leo: Techniques for Nuclear and Particle Physics Experiments, Springer (1994)

C. Grupen: Particle Detectors, Cambridge University Press (2011)

N. Wermes, H. Kolanoski: Teilchendetektoren, Springer (2016)

Particle Data Group: The Review of Particle Physics

**Leistungsnachweis:**

Falls dieses Modul Teil des Schwerpunkt- oder Ergänzungsfachs ist, werden die Leistungspunkte durch die zugehörige Prüfung (mündlich, schriftlich oder anderer Art) erworben. Ansonsten müssen die Übungen, Computerübungen, Praktika oder ggf. Abschlussvorträge erfolgreich absolviert werden.

**Notenbildung:**

Entsprechend den Regeln der Prüfungsordnung und des Studienplans je nach Verwendung als Schwerpunkt-, Ergänzungs- oder Nebenfach.

# Modul: Astroteilchenphysik I: Dunkle Materie

**Lehrveranstaltungsnummer:** 4022011

**Modulverantwortliche:** Drexlin, Guido; Valerius, Kathrin

**Einordnung in Studiengang:**

Master Physik, Themenfeld/er: Experimentelle Astroteilchenphysik

**Level:** Master (4)

**Leistungspunkte:** 8

**Semesterwochenstunden:** 4 (v2u2)

**Arbeitsaufwand:**

240 Stunden bestehend aus Präsenzzeiten (60 Stunden), Nachbereitung der Vorlesung inkl. Prüfungsvorbereitung und Bearbeitung der Übungen (180 Stunden).

**Modulturnus:** WS

**Moduldauer:** Ein Semester

**Lehr- und Lernformen:**

4022011 Vorlesung, 2 SWS; G. Drexlin, K. Valerius

4022012 Übung, 2 SWS; G. Drexlin, K. Valerius

**Voraussetzungen:** keine

**Bedingungen:** keine

**Empfehlungen:** Grundlagenkenntnisse aus Vorlesung „Kerne und Teilchen“

**Qualifikationsziele:**

Die Studierenden sollen eingeführt werden in die Grundbegriffe der Astroteilchen-physik. Die Vorlesung vermittelt sowohl die theoretischen Konzepte wie auch die experimentellen Methoden dieses neuen dynamischen Arbeitsfeldes an der Schnitt-stelle von Elementarteilchenphysik, Kosmologie und Astrophysik. Die Studierenden lernen anhand konkreter Fallbeispiele aus der aktuellen Forschung die Konzepte zu verstehen und werden befähigt, die erlernten Methoden eigenständig anzuwenden.

*Methodenkompetenzerwerb:*

- Verständnis der Grundlagen der experimentellen Astroteilchenphysik
- Erkenntnis von methodischen Querverbindungen zur Elementarteilchen-physik, Astrophysik und Kosmologie
- Erwerb der Fähigkeit, ein aktuelles Forschungsthema eigenständig sowie im Team darzustellen
- Erwerb der Fähigkeit, die Konzepte und experimentellen Methoden in der Masterarbeit umzusetzen

**Inhalt:**

Die behandelten Themengebiete umfassen eine allgemeine Einführung in das Arbeitsgebiet mit seinen fundamentalen Fragestellungen, theoretischen Konzepten und experimentellen Methoden. Entsprechend den sehr unterschiedlichen Energie-skalen (meV –  $10^{20}$  eV) der Astroteilchenphysik gliedert sich die Vorlesung in eine Diskussion der Prozesse im thermischen (niedrige Energien) und nichtthermischen (hohe Energien) Universum. Einen besonderen Schwerpunkt der Vorlesung bildet eine umfassende Darstellung von modernen experimentelle Techniken, z.B. bei der Suche nach sehr seltenen Prozessen. Darauf aufbauend wird im zweiten Teil der Vorlesung eine umfassende Einführung in das „dunkle Universum“ und die Suche nach Dunkler Materie gegeben.

Die Vorlesung ist Grundlage von weiteren Vorlesungen zu diesem Thema (Astro-teilchenphysik II).

**Literatur:**

Donald Perkins, Particle Astrophysics (Oxford University Press, 2. Auflage, 2009)

Claus Grupen, Astroparticle Physics (Springer, 2005)

Lars Bergström & Ariel Goobar Cosmology and Particle Astrophysics (Wiley, 2. Auflage, 2006)

Malcolm Longair, High Energy Astrophysics (Cambridge University Press, 3. Auflage, 2011)

**Leistungsnachweis:**

Falls dieses Modul Teil des Schwerpunkt- oder Ergänzungsfachs ist, werden die Leistungspunkte durch die zugehörige Prüfung (mündlich, schriftlich oder anderer Art) erworben. Ansonsten müssen die Übungen, Computerübungen, Praktika oder ggf. Abschlussvorträge erfolgreich absolviert werden.

**Notenbildung:**

Entsprechend den Regeln der Prüfungsordnung und des Studienplans je nach Verwendung als Schwerpunkt-, Ergänzungs- oder Nebenfach.

# **Modul: Astroteilchenphysik II: Kosmische Strahlung**

**Lehrveranstaltungsnummer:** 4022041

**Modulverantwortliche:** Drexlin, Guido; Roth, Markus

**Einordnung in Studiengang:**

Master Physik, Themenfeld/er: Experimentelle Astroteilchenphysik

**Level:** Master (4)

**Leistungspunkte:** 8 oder 6

**Semesterwochenstunden:** 4 (v2u2) oder 3 (v2u1)

**Arbeitsaufwand:**

240 bzw. 180 Stunden bestehend aus Präsenzzeiten (60 bzw. 45 Stunden), Nachbereitung der Vorlesung inkl. Prüfungsvorbereitung und Bearbeitung der Übungen (180 bzw. 135 Stunden).

**Modulturnus:** WS

**Moduldauer:** Ein Semester

**Lehr- und Lernformen:**

4022041 Vorlesung 2 SWS; Markus Roth

4022042 Übung 2 SWS; Markus Roth

**Voraussetzungen:** keine

**Bedingungen:**

keine, die Vorlesung ist komplementär zum Modul Astroteilchenphysik I angelegt und kann dazu parallel gehört werden

**Empfehlungen:** keine

**Qualifikationsziele:**

Der Studierende soll die Grundbegriffe und Konzepte der Astrophysik hochenergetischer Teilchen verstehen und für die Diskussion moderner Beobachtungsergebnisse anwenden können. Typische Näherungen und Betrachtungen der Astrophysik sollen für den Teilnehmenden nachvollziehbar werden. In der Übung soll der Studierende ausgewählte Probleme der Astroteilchenphysik lösen und in der Gruppe diskutieren.

**Inhalt:**

Die Vorlesung wird als Tafelanschrieb und mit vorher ausgehändigtem Bildmaterial gehalten. Besonderer Wert wird auf die explizite Ableitung der wesentlichen Zusammenhänge gelegt. Die Themen umfassen astrophysikalische Energie- und Größenskalen; Eigenschaften kosmischer Strahlung; direkte und indirekte Messung kosmischer Strahlung; Beschleunigung geladener Teilchen; Galaxien und galaktische Magnetfelder; galaktische und extra-galaktische Ausbreitung kosmischer Strahlung; Quellen kosmischer Strahlung; Teilchenphysik und Suche nach exotischen Phänomenen mit kosmischer Strahlung; hochenergetische Neutrinos. Zusammen mit „Astroteilchenphysik II: Gamma-Strahlung“ im folgenden Semester ergeben die beiden Vorlesungen ein abgeschlossenes Bild hochenergetischer Teilchen mit ihren zugrundeliegenden Erzeugungs- und Transportprozessen im Universum. Die Themenspektren beider Vorlesungen sind so angelegt, dass sie auch einzeln gehört werden können.

**Literatur:**

T.K. Gaisser, R. Engel, E. Resconi: Cosmic Rays and Particle Physics (2nd Ed.)

P. Schneider: Einführung in die Extragalaktische Astronomie und Kosmologie

M. Longair: High Energy Astrophysics

**Leistungsnachweis:**

Falls dieses Modul Teil des Schwerpunkt- oder Ergänzungsfachs ist, werden die Leistungspunkte durch die zugehörige Prüfung (mündlich, schriftlich oder anderer Art) erworben. Ansonsten müssen die Übungen, Computerübungen, Praktika oder ggf. Abschlussvorträge erfolgreich absolviert werden.

**Notenbildung:**

Entsprechend den Regeln der Prüfungsordnung und des Studienplans je nach Verwendung als Schwerpunkt-, Ergänzungs- oder Nebenfach.

# Modul: Einführung in die Kosmologie

**Lehrveranstaltungsnummer:** 4022021

**Modulverantwortliche:** Drexlin, Guido

**Einordnung in Studiengang:**

Master Physik, Themenfeld/er: Experimentelle Astroteilchenphysik

**Level:** Master (4)

**Leistungspunkte:** 6

**Semesterwochenstunden:** 3 (v2u1)

**Arbeitsaufwand:**

180 Stunden bestehend aus Präsenzzeiten (45 Stunden), Nachbereitung der Vorlesung inkl. Prüfungsvorbereitung und Bearbeitung der Übungen (135 Stunden).

**Modulturnus:** WS

**Moduldauer:** Ein Semester

**Lehr- und Lernformen:**

4022021 Vorlesung 2 SWS; G. Drexlin

4022022 Übung 1 SWS; G. Drexlin, T. Hüge

**Voraussetzungen:** keine

**Bedingungen:** keine

**Empfehlungen:**

Grundlagenkenntnisse aus Vorlesung „Kerne und Teilchen“ **Lernziele:** Die Studierenden sollen eingeführt werden in die Grundbegriffe der Kosmologie. Die Vorlesung vermittelt hierbei sowohl die theoretischen Konzepte wie auch einen Überblick über moderne experimentelle Methoden und Beobachtungstechniken. Die Studierenden werden anhand von konkreten Fallbeispielen aus der modernen Kosmologie in die Lage versetzt, die Konzepte zu verstehen und werden befähigt, die erlernten Methoden im Rahmen späterer eigenständiger Forschung anzuwenden.

*Methodenkompetenzerwerb:*

- Verständnis der Grundlagen der Kosmologie
- Erkenntnis von methodischen Querverbindungen zur Elementarteilchen-physik und Astroteilchenphysik
- Erwerb der Fähigkeit, sich in aktuelle Forschungsthemen eigenständig einzuarbeiten als Vorbereitung zur Masterarbeit

**Inhalt:**

Die Vorlesung bietet eine Einführung in die moderne Kosmologie, die in den letzten Jahren durch den Einsatz modernster Technologien (Planck-Satellit, Galaxiendurchmusterungen wie z.B. 2dF und SDSS) und begleitender rechenintensiver Simulationen (Millennium) einen enormen Aufschwung genommen hat. Die Vielzahl an Beobachtungen hat zur Aufstellung eines sog. Konkordanz-Modells der Kosmologie geführt, in dem die Beiträge der Dunklen Energie und der Dunklen Materie die Entwicklung von großräumigen Strukturen im Universum dominieren.

Ausgehend von einer Beschreibung des frühen Universums mit den Stützpfeilern der Big Bang Theorie (Hubble-Expansion, Nukleosynthese, kosmische Hintergrundstrahlung) und den dabei auftretenden Phasenübergängen und Symmetriebrechungen wird die Entstehung und Evolution von großräumigen Strukturen im Universum bis zum heutigen „dunklen Universum“ diskutiert (Vergleich von „top-down“ mit „bottom-up“ Modellen). Besonderes Augenmerk liegt dabei auf einer eingehenden Darstellung modernster experimenteller Techniken und Analysemethoden, die breiten Eingang in weite Bereiche der Physik gefunden haben.

Die Vorlesung vermittelt damit ein kohärentes Abbild der modernen Kosmologie und diskutiert grundlegende Fragen auch auf Nachbardisziplinen wie Teilchenphysik und Astrophysik und kann daher mit anderen Vorlesungen aus dem Bereich der Experimentellen Astroteilchenphysik und Experimentellen Teilchenphysik ergänzt werden.

**Literatur:** Wird in der Vorlesung genannt.

**Leistungsnachweis:**

Falls dieses Modul Teil des Schwerpunkt- oder Ergänzungsfachs ist, werden die Leistungspunkte durch die zugehörige Prüfung (mündlich, schriftlich oder anderer Art) erworben. Ansonsten müssen die Übungen, Computerübungen, Praktika oder ggf. Abschlussvorträge erfolgreich absolviert werden.

**Notenbildung:**

Entsprechend den Regeln der Prüfungsordnung und des Studienplans je nach Verwendung als Schwerpunkt-, Ergänzungs- oder Nebenfach.

# **Modul: Neutrinophysik – theoretische Aspekte**

**Lehrveranstaltungsnummer:** 4022091

**Modulverantwortliche:** Schwetz-Mangold, Thomas

**Einordnung in Studiengang:**

Master Physik, Themenfeld/er: Theoretische Teilchenphysik, Experimentelle Astroteilchenphysik

**Level:** Master (4)

**Leistungspunkte:** 6

**Semesterwochenstunden:** 3 (v2u1)

**Arbeitsaufwand:**

180 Stunden bestehend aus Präsenzzeiten (45 Stunden), Nachbereitung der Vorlesung inkl. Prüfungsvorbereitung und Bearbeitung der Übungen (135 Stunden).

**Modulturnus:** WS

**Moduldauer:** Ein Semester

**Lehr- und Lernformen:**

4022091 Vorlesung 2 SWS; T. Schwetz-Mangold

4022092 Übung 2 SWS; T. Schwetz-Mangold, O. Fischer

**Voraussetzungen:** keine

**Bedingungen:** keine

**Empfehlungen:**

Grundlagenkenntnisse der Quantenmechanik werden vorausgesetzt. Kenntnisse fundamentaler Konzepte der Elementarteilchenphysik oder Quantenfeldtheorie sind empfehlenswert, werden aber auch kurz in der Vorlesung eingeführt.

**Qualifikationsziele:**

Die Studierenden sollen in die Grundbegriffe der Neutrinophysik eingeführt werden, die relevanten theoretischen Konzepte beherrschen lernen sowie mit den aktuellen Entwicklungen dieses Feldes vertraut gemacht werden. Anhand der Neutrinophysik erwerben Studierende fächerübergreifende Kenntnisse in Teilchenphysik und Astroteilchenphysik.

**Inhalt:**

Die Vorlesung behandelt verschiedene Aspekte der Neutrinophysik in Elementarteilchenphysik, Astroteilchenphysik und Kosmologie. Themen wie Neutrinooszillationen, Seesaw-Mechanismus, Neutrinomassen und Physik jenseits des Standardmodells, Neutrinomassen und LHC-Physik, Leptogenese und sterile Neutrinos werden behandelt. Konzepte wie Majoranateilchen und Leptonzahlverletzung werden eingeführt und verschiedene theoretische Modelle für Neutrinomassen werden diskutiert.

**Literatur:**

- C. Giunti and C. Kim, Fundamentals of Neutrino Physics and Astrophysics

- Kai Zuber, Neutrino Physics

weitere Literatur wird in der Vorlesung bekanntgegeben

**Leistungsnachweis:**

Teilnahme an Vorlesung und Übung

Vorrechnen der Übungsblätter in der Übung

**Notenbildung:**

Entsprechend den Regeln der Prüfungsordnung und des Studienplans je nach Verwendung als Schwerpunkt-, Ergänzungs- oder Nebenfach.

# **Modul: Allgemeine Relativitätstheorie**

**Lehrveranstaltungsnummer:** 4026131

**Modulverantwortliche:** Klinkhamer, Frans

**Einordnung in Studiengang:**

Master Physik, Themenfeld/er: Experimentelle Astroteilchenphysik, Theoretische Teilchenphysik

**Level:** Master (4)

**Leistungspunkte:** 10

**Semesterwochenstunden:** 5 (v3u2)

**Arbeitsaufwand:**

300 Stunden bestehend aus Präsenzzeiten (75 Stunden), Nachbereitung der Vorlesung inkl. Prüfungsvorbereitung und Bearbeitung der Übungen (225 Stunden).

**Modulturnus:** WS oder SS

**Moduldauer:** Ein Semester

**Lehr- und Lernformen:**

4026131 Vorlesung, 3 SWS; Frans Klinkhamer

4026132 Übung; Frans Klinkhamer; V. Emelyanov

**Voraussetzungen:** keine

**Bedingungen:** keine

**Empfehlungen:**

A basic understanding of classical mechanics, classical electrodynamics, and quantum mechanics.

**Qualifikationsziele:**

The main goal is to broaden the student's intellectual horizon by learning and thinking about one of the great discoveries of the last century, the dynamic nature of spacetime.

**Inhalt:**

This lecture consists of three parts. The first part reviews the basic ideas of Special Relativity.

The second part introduces the main concepts and techniques of General Relativity. The third part discusses cosmological models.

**Literatur:**

S. Weinberg, Gravitation and Cosmology, Wiley, 1972.

C. Misner, K. Thorne, J. Wheeler, Gravitation, W. H. Freeman, 1973.

Robert M. Wald, General Relativity, The University of Chicago Press, 1984.

S. W. Hawking and G. F. R. Ellis, The Large Scale Structure of Space-Time, Cambridge UP, 1973.

V. Mukhanov, Physical Foundations of Cosmology, Cambridge UP, 2005.

**Leistungsnachweis:**

Falls dieses Modul Teil des Schwerpunkt- oder Ergänzungsfachs ist, werden die Leistungspunkte durch die zugehörige Prüfung (mündlich, schriftlich oder anderer Art) erworben. Ansonsten müssen die Übungen, Computerübungen, Praktika oder ggf. Abschlussvorträge erfolgreich absolviert werden.

**Notenbildung:**

Entsprechend den Regeln der Prüfungsordnung und des Studienplans je nach Verwendung als Schwerpunkt-, Ergänzungs- oder Nebenfach.

# **Modul:** Einführung in die Theoretische Teilchenphysik

**Lehrveranstaltungsnummer:** 4026021

**Modulverantwortliche:** Gieseke, Stefan

**Einordnung in Studiengang:**

Master Physik, Themenfeld/er: Theoretische Teilchenphysik

**Level:** Master (4)

**Leistungspunkte:** 10 oder 8

**Semesterwochenstunden:** 5 (v3u2) oder 4 (v2u2)

**Arbeitsaufwand:**

300 bzw. 240 Stunden bestehend aus Präsenzzeiten (75 bzw. 60 Stunden), Nachbereitung der Vorlesung inkl. Prüfungsvorbereitung und Bearbeitung der Übungen (225 bzw. 180 Stunden).

**Modulturnus:** WS

**Moduldauer:** Ein Semester

**Lehr- und Lernformen:**

4026021 Vorlesung 3 SWS; Stefan Gieseke

4026022 Übungen 2 SWS; Stefan Geiseke

**Voraussetzungen:** keine

**Bedingungen:** keine

**Empfehlungen:** Grundlagenkenntnisse der Quantenmechanik I und II

**Qualifikationsziele:**

Erste Grundkenntnisse der Themen, Begriffe und des Handwerkszeugs in der Theoretischen Teilchenphysik; Verschaffen eines Überblicks über die Fragestellungen der Theoretischen Teilchenphysik.

**Inhalt:**

Motivation, Geschichte und Status der Teilchenphysik, Verbindungen zu Astroteilchenphysik und Kosmologie; Lagrangedichten, Lorentzgruppen, Symmetrien; Standardmodell (SM) der Teilchenphysik, Higgsmechanismus – Phänomenologie sowohl am LHC als auch  $e+e-$  Beschleunigern; Berechnung einfacher Prozesse auf Baumgraphenniveau; Mängel des SM, Motivation für Physik jenseits des SM; Higgssektoren in Modellen jenseits des SM; Supersymmetrie – Phänomenologie; Dunkle Materie.

**Literatur:** Wird in der Vorlesung genannt.

**Leistungsnachweis:**

Falls dieses Modul Teil des Schwerpunkt- oder Ergänzungsfachs ist, werden die Leistungspunkte durch die zugehörige Prüfung (mündlich, schriftlich oder anderer Art) erworben. Ansonsten müssen die Übungen, Computerübungen, Praktika oder ggf. Abschlussvorträge erfolgreich absolviert werden.

**Notenbildung:**

Entsprechend den Regeln der Prüfungsordnung und des Studienplans je nach Verwendung als Schwerpunkt-, Ergänzungs- oder Nebenfach.

# Modul: Theoretische Teilchenphysik II

**Lehrveranstaltungsnummer:** 4026011

**Modulverantwortliche:** Melnikov, Kirill

**Einordnung in Studiengang:**

Master Physik, Themenfeld/er: Theoretische Teilchenphysik

**Level:** Master (4)

**Leistungspunkte:** 12 oder 8

**Semesterwochenstunden:** 6 (v4u2) oder 4 (v4u0)

**Arbeitsaufwand:**

360 bzw. 240 Stunden bestehend aus Präsenzzeiten (90 bzw. 60 Stunden), Nachbereitung der Vorlesung inkl. Prüfungsvorbereitung und Bearbeitung der Übungen (270 bzw. 180 Stunden).

**Modulturnus:** WS

**Moduldauer:** Ein Semester

**Lehr- und Lernformen:**

4026011 Vorlesung 4 SWS; K. Melnikov

4026012 Übung 2 SWS; K. Melnikov, Rietkerk, Frellesvig

**Voraussetzungen:** keine

**Bedingungen:** keine

**Empfehlungen:** Theoretische Teilchenphysik I

**Qualifikationsziele:**

Studierende sollen in die Grundbegriffe von nicht-abelschen Eichtheorien und ihre Anwendung in der Teilchenphysik eingeführt werden und die relevanten theoretischen Konzepte und Rechenmethoden beherrschen lernen. In der Übung sollen die Studierenden konkrete Probleme der Theoretischen Teilchenphysik lösen lernen unter Anwendung des in der Vorlesung vermittelten Faktenwissens.

**Inhalt:**

Im Hauptteil der Vorlesung werden nicht-abelsche Eichtheorien und ihre Anwendung in der Elementarteilchenphysik besprochen. Das Themenfeld beinhaltet die Lagrangedichten der QCD und des elektroschwachen Standardmodels, die daraus folgenden Feynmanregeln und störungstheoretische Berechnungen von Raten für Prozesse mit Quarks und Gluonen, Regularisierung von ultravioletten und infraroten Divergenzen, Renormierung und Anwendungen der Renormierungsgruppe, QCD Beta-Funktion und asymptotische Freiheit, kollineare und weiche Divergenzen und Parton-Schauer, QCD-Effekte in der schwachen Wechselwirkung und Anomalien in Eichtheorien.

**Literatur:**

M. Peskin and D. Schroeder, An Introduction to Quantum Field Theory

L. Ryder, Quantum Field Theory

**Leistungsnachweis:**

Falls dieses Modul Teil des Schwerpunkt- oder Ergänzungsfachs ist, werden die Leistungspunkte durch die zugehörige Prüfung (mündlich, schriftlich oder anderer Art) erworben. Ansonsten müssen die Übungen, Computerübungen, Praktika oder ggf. Abschlussvorträge erfolgreich absolviert werden.

**Notenbildung:**

Entsprechend den Regeln der Prüfungsordnung und des Studienplans je nach Verwendung als Schwerpunkt-, Ergänzungs- oder Nebenfach.

# **Modul: Einführung in die Flavourphysik**

**Lehrveranstaltungsnummer:** 4025131

**Modulverantwortliche:** Nierste, Ulrich

**Einordnung in Studiengang:**

Master Physik, Themenfeld/er: Theoretische Teilchenphysik

**Level:** Master (4)

**Leistungspunkte:** 12

**Semesterwochenstunden:** 6 (v4u2)

**Arbeitsaufwand:**

360 Stunden bestehend aus Präsenzzeiten (90 Stunden), Nachbereitung der Vorlesung inkl. Prüfungsvorbereitung und Bearbeitung der Übungen (270 Stunden).

**Modulturnus:** WS

**Moduldauer:** Ein Semester

**Lehr- und Lernformen:**

4026031 Vorlesung, 4 SWS; U. Nierste, M. Blanke

4026032 Übung, 2 SWS; U. Nierste

**Voraussetzungen:** keine

**Bedingungen:** keine

**Empfehlungen:**

Nützlich ist Vorwissen über quantisierte Felder und das Standardmodell der Teilchenphysik, z.B. aus der Vorlesung "Einführung in die Theoretische Teilchenphysik" (4026021). Für an Theorie interessierte Studierende ist es sinnvoll, parallel die Vorlesung "Theoretische Teilchenphysik I" zu besuchen.

**Qualifikationsziele:**

Erlernen der Methodik der Theoretischen Flavourphysik, Fähigkeiten zur Lösung komplexer mathematischer Probleme wie der Berechnung der Zerfallsamplituden von Mesonen, Verständnis der Phänomenologie des Yukawa-Sektors.

**Inhalt:**

Yukawa-Wechselwirkung in Standardmodell. Lagrangedichten der QCD und der elektronischen Wechselwirkung, schwache Zerfälle von Mesonen, Wilson'sche Operatorproduktentwicklung, Renormierung effektiver Feldtheorien, Teilchen-Antiteilchen-Mischung, CP-Verletzung.

**Literatur:** Wird in der ersten Vorlesungsstunde angegeben.

**Leistungsnachweis:**

Falls dieses Modul Teil des Schwerpunkt- oder Ergänzungsfachs ist, werden die Leistungspunkte durch die zugehörige Prüfung (mündlich, schriftlich oder anderer Art) erworben. Vorrechnen der Übungsaufgaben an der Tafel.

**Notenbildung:**

Entsprechend den Regeln der Prüfungsordnung und des Studienplans je nach Verwendung als Schwerpunkt-, Ergänzungs- oder Nebenfach.

# Modul: Theorie der Kondensierten Materie I

**Lehrveranstaltungsnummer:** 4024011

**Modulverantwortliche:** Mirlin, Alexander

**Einordnung in Studiengang:** Master-Physik

**Themenfeld/er:** Theorie der kondensierter Materie

**Level:** Master (4)

**Leistungspunkte:** 12 oder 8

**Semesterwochenstunden:** 6 (v4u2) oder 4 (v3u1)

**Arbeitsaufwand:**

360 bzw. 300 Stunden bestehend aus Präsenzzeiten (90 bzw. 75 Stunden), Nachbereitung der Vorlesung inkl. Prüfungsvorbereitung und Bearbeitung der Übungen (270 bzw. 225 Stunden).

**Modulturnus:** WS

**Moduldauer:** Ein Semester

**Lehr- und Lernformen:**

4024011 Vorlesung 4 bzw. 3 SWS; A. Mirlin

4024012 Übung 2 SWS bzw. 1 SWS; A. Mirlin, I. Gornyi

Die Variante mit 8LP (Grundlagen) wird ca. nach 2/3 des Semesters beendet

**Voraussetzungen:** keine

**Bedingungen:** keine

**Empfehlungen:**

Grundlagenkenntnisse der Festkörperphysik, Quantenmechanik, der statistischen Physik und der Thermodynamik werden vorausgesetzt.

**Qualifikationsziele:**

Einführung in die Theorie der kondensierten Materie sowie weitere Vertiefung in dem Gebiet; Erlangen von Wissen über wichtigste Phänomene und Konzepte.

**Inhalt:**

Vorlesungen und Übungen vermitteln bzw. vertiefen die grundlegenden Konzepte der Theorie der kondensierter Materie, wobei kristallinen Festkörpern besondere Aufmerksamkeit geschenkt wird. Die inhaltlichen Schwerpunkte der Vorlesung sind:

- Kristallgitter, Elektronen im periodischen Potential, Dynamik von Bloch-Elektronen
- Elektronische Transporteigenschaften von Festkörpern, Boltzmann-Gleichung
- Festkörper im äußeren Magnetfeld: Pauli-Paramagnetismus, Landau-Diamagnetismus, de Haas-van Alphen-Effekt
- Elektron-Elektron-Wechselwirkung, Stoner-Theorie des Ferromagnetismus; Landau-Theorie von Fermi-Flüssigkeiten
- Phononen und Elektron-Phonon-Wechselwirkung
- Supraleitung: BCS-Theorie, Elektrodynamik von Supraleitern, Ginzburg-Landau-Theorie

**Literatur:**

- C. Kittel, Einführung in die Festkörperphysik (Oldenburg, 1980) / Introduction to Solid State Physics.
- C. Kittel, Quantum Theory of Solids.
- N.W. Ashcroft and N.D. Mermin, Solid State Physics (Holt, Rinehart & Winston, N.Y 1976).
- J.H. Ziman, Principles of the Theory of Solids (Cambridge, Univ. Press, 1972).
- A. A. Abrikosov, Fundamentals of the Theory of Metals
- G. Czycholl, Theoretische Festkörperphysik (Springer, 2008)
- J.C. Schrieffer, Theory of Superconductivity, Chapters 1-4.
- M. Tinkham, Introduction to Superconductivity.

**Leistungsnachweis:**

Falls dieses Modul Teil des Schwerpunkt- oder Ergänzungsfachs ist, werden die Leistungspunkte durch die zugehörige Prüfung (mündlich, schriftlich oder anderer Art) erworben. Ansonsten müssen die Übungen, Computerübungen, Praktika oder ggf. Abschlussvorträge erfolgreich absolviert werden.

**Notenbildung:**

Entsprechend den Regeln der Prüfungsordnung und des Studienplans je nach Verwendung als Schwerpunkt-, Ergänzungs- oder Nebenfach.

# Modul: Field Theories of Condensed Matter

**Lehrveranstaltungsnummer:** 4024121

**Modulverantwortliche:** Shnirman, Alexander; Narozhny, Boris

**Einordnung in Studiengang:**

Master Physik, Themenfeld/er: Theorie der Kondensierten Materie

**Level:** Master (4)

**Leistungspunkte:** 8

**Semesterwochenstunden:** 4 (v3u1)

**Arbeitsaufwand:**

240 Stunden bestehend aus Präsenzzeiten (60 Stunden), Nachbereitung der Vorlesung inkl. Prüfungsvorbereitung und Bearbeitung der Übungen (180 Stunden).

**Modulturnus:** WS

**Moduldauer:** Ein Semester

**Lehr- und Lernformen:**

40240121 Vorlesung, 3 SWS; A. Shnirman, B. Narozhny

40240122 Übung, 1 SWS; A. Shnirman, B. Narozhny

**Voraussetzungen:** keine

**Bedingungen:** keine

**Empfehlungen:**

In der Regel soll diese Vorlesung nach der Theorie der Kondensierten Materie I und II besucht werden.

**Qualifikationsziele:**

Die Studierenden kennen und beherrschen die hydrodynamische Beschreibung von Vielteilchensystemen. Sie erlernen die Modellbildung für Probleme im Bereich der Kondensierten Materie und können den Formalismus der Quantenboltzmann-Gleichung anwenden. Außerdem haben die Studierenden die Kompetenz, das Erlernete auf kompliziertere Systeme anzuwenden.

**Inhalt:**

Voraussichtliche Struktur der Vorlesung:

- Boltzmann-Gleichung
- Quantenboltzmann-Gleichung
- Erhaltungssätze und hydrodynamische Beschreibung
- Anwendung auf explizite Systeme, wie Graphene und das zweidimensionale Elektronengas

**Literatur:**

- L.D. Landau, E.M. Lifschitz, Physikalische Kinetik (Lehrbuch der theoretischen Physik, Bd X)
- G.D. Mahan, Many-particle physics
- A. Kamenev, Field Theory of Non-Equilibrium Systems

**Leistungsnachweis:**

Falls dieses Modul Teil des Schwerpunkt- oder Ergänzungsfachs ist, werden die Leistungspunkte durch die zugehörige Prüfung (mündlich, schriftlich oder anderer Art) erworben. Ansonsten müssen die Übungen, Computerübungen, Praktika oder ggf. Abschlussvorträge erfolgreich absolviert werden.

**Notenbildung:**

Entsprechend den Regeln der Prüfungsordnung und des Studienplans je nach Verwendung als Schwerpunkt-, Ergänzungs- oder Nebenfach.

# **Modul: Theoretische Molekulare Biophysik**

**Lehrveranstaltungsnummer:** 4023031

**Modulverantwortliche:** Wenzel, Wolfgang; Schug, Alexander

**Einordnung in Studiengang:**

Master Physik, Themenfeld/er: Nanophysik

**Level:** Master (4)

**Leistungspunkte:** 8 oder 6

**Semesterwochenstunden:** 4 (v2u1 + Referat/Kurzvortrag) 3 (v2u1)

**Arbeitsaufwand:**

180 Stunden bestehend aus Präsenzzeiten (45), Nachbereitung der Vorlesung inkl. Prüfungsvorbereitung und Bearbeitung der Übungen (135), bei 8 ECTS Punkten: 60 Stunden zusätzlich zu Ausarbeitung eines Referats+Vortrag.

**Modulturnus:** WS

**Moduldauer:** Ein Semester

**Lehr- und Lernformen:**

LV-Nr. Vorlesung, 2 SWS; W. Wenzel, A. Schug

LV-Nr. Übung, 1 SWS; W. Wenzel, A. Schug

**Voraussetzungen:** keine

**Bedingungen:** keine

**Empfehlungen:** Kenntnisse der Thermodynamik

**Qualifikationsziele:**

Aufbau von Biopolymeren, Modelle und Simulation der Strukturbildung und Funktion von Biopolymeren, insbesondere Proteine und DNS. Kenntnis von Verfahren zur rechnergestützten Medikamentenentwicklung

**Inhalt:**

Fragestellungen aus dem Grenzgebiet zwischen Biologie, Chemie und Physik gewinnen zunehmend Bedeutung in der interdisziplinären Forschung. Theoretische Methoden der Biophysik und Biochemie können wesentlich dazu beitragen, biochemische Prozesse zu verstehen und zunehmend auch quantitativ zu beschreiben. Überlappend mit dem sich entwickelnden Gebiet der Bioinformatik erlauben physikalische Modelle die Analyse und zunehmend auch die Vorhersage fundamentaler biologischer Abläufe.

In dieser Vorlesung sollen die biophysikalischen Grundlagen und biochemischen Modelle für die Beschreibung von Proteinen/DNS/RNS erarbeitet werden: Proteine sind die Grundbausteine der Zelle, die für alle wesentlichen Prozesse von Pflanzen, Tieren und Menschen von Bedeutung sind. Sie werden im Gen durch DNS kodiert und als chemisch lineare Moleküle synthetisiert, falten und funktionieren jedoch in wohldefinierten dreidimensionalen Strukturen, deren Bildung und Dynamik behandelt werden soll. In dieser Vorlesung sollen die wichtigen biophysikalischen Grundlagen für die Modellierung von DNS und Proteinen vorgestellt und diskutiert werden. Darüber hinaus werden wichtige Anwendung dieser Verfahren, z.B. in der rechnergestützten Medikamentenentwicklung und in der Biotechnologie, vorgestellt.

**Literatur:**

Daume, Molecular Biophysics, Brandon & Tooze: Introduction to Protein Structure Weitere Titel werden in der Vorlesung genannt.

**Leistungsnachweis:**

Falls dieses Modul Teil des Schwerpunkt- oder Ergänzungsfachs ist, werden die Leistungspunkte durch die zugehörige Prüfung (mündlich, schriftlich oder anderer Art) erworben. Ansonsten müssen die Übungen, Computerübungen, Praktika oder ggf. Abschlussvorträge erfolgreich absolviert werden.

**Notenbildung:** SEntsprechend den Regeln der Prüfungsordnung und des Studienplans je nach Verwendung als Schwerpunkt-, Ergänzungs- oder Nebenfach.