Modulhandbuch
Bachelorstudiengang Physik
Studienordnung 2020

31. Oktober 2023

Inhaltsverzeichnis

1 Erläuterungen zu den Modulbeschreibungen 3

2 Pflichtmodule des Bachelorstudiengangs 7
2.1 Experimentalphysik . . . 7
2.2 Theoretische Physik . . . 22
2.3 Mathematik . . . 32
2.4 Bachelorarbeit . . . 35
2.5 Pflichtmodule des Schwerpunkts *Physik von Atmosphäre und Klima* . . . 38
2.6 Pflichtmodule des Schwerpunkts *Geophysik* . . . 43

3 Wahlpflichtmodule des Bachelorstudiengangs I) Jährlich angebotene Module 48
3.1 Fachgebietsübergreifende Module . . . 48
3.2 Astrophysik und Kosmologie . . . 54
3.3 Kern- und Elementarteilchenphysik . . . 67
3.4 Physik der Kondensierten Materie . . . 89
3.5 Optik, Laser- und Atomphysik . . . 102
3.6 Beschleuniger-, Plasma- und angewandte Physik . . . 110
3.7 Biophysik . . . 127
3.8 Neurowissenschaften . . . 133
3.9 Physik von Atmosphäre und Klima . . . 137
3.10 Anrechenbare Wahlpflichtmodule aus anderen Studiengängen (Importmodule) . . . 139

4 Wahlpflichtmodule des Bachelorstudiengangs: II) Zweijährlich oder unregelmäßig angebotene Module 140
4.1 Fachgebietsübergreifende Module . . . 140
4.2 Astrophysik und Kosmologie . . . 163
4.3 Kern- und Elementarteilchenphysik . . . 171
4.4 Physik der Kondensierten Materie . . . 192
4.5 Atomphysik und Quantenoptik . . . 203
4.6 Plasmaphysik . . . 207
4.7 Neurowissenschaften . . . 209

5 Schlüsselqualifikationsmodule 211

6 Nebenfachmodule 216
6.1 Nebenfach Astronomie . . . 216
6.2 Nebenfach Elektronik . . . 220
6.3 Nebenfach Didaktik der Physik . . . 224

7 Exportmodule 228
7.1 Vorlesungen . . . 228
7.2 Praktika . . . 240

Index 1: Modulkürzel 248

Index 2: Modultitel 250

1 Erläuterungen zu den Modulbeschreibungen

- Unterscheidung Pflicht/Wahlpflichtmodul und Pflicht/Wahlpflichtlehrveranstaltung:
  - Es gibt Pflicht- und Wahlpflichtmodule, wobei erstere als Module absolviert werden müssen, auch wenn sie sich ihrerseits aus Wahlpflichtlehrveranstaltungen aufbauen. Pflicht- und Wahlpflichtmodule sind im Modulhandbuch in unterschiedlichen Abschnitten aufgeführt. Innnerhalb eines Moduls kann es — unabhängig vom Charakter des Moduls selbst — Pflicht- und Wahlpflichtlehrveranstaltungen geben, wobei im Fall von Modulen aus einer einzigen Lehrveranstaltung diese notwendigerweise Pflicht sein muss. Pflicht- und Wahlpflichtlehrveranstaltungen eines Moduls sind im Modulhandbuch durch den Eintrag "Pf/WP" charakterisiert.
- SWS-Angaben:
  - SWS-Angaben beziehen sich stets auf das gesamte Semester, weswegen bei untersemestrigen Lehrveranstaltungen die wöchentliche Angabe mit dem Verhältnis aus der Zahl der Wochen, in der die Lehrveranstaltung tatsächlich abgehalten wird, und der Normwochenzahl eines Semesters (15 sowohl für Winter- als auch für Sommersemester) multipliziert wird. Die resultierende Zahl wird dann auf die nächstliegende ganze Zahl gerundet.
- Verwendbarkeit:
  - Die Verwendbarkeit eines Moduls für einen Studiengang bezieht sich auf die vorliegende Zulassung des Moduls für einen Studiengang, nicht auf seine thematische Verwendbarkeit in einem Studiengang.
- Zugehörigkeit zu Schwerpunkten:
  - Falls Wahlpflichtmodule für einen oder mehrere Schwerpunkte des Studiengangs empfohlen werden, werden diese hier angegeben. Schwerpunkte des Studiengangs sind:

AKT	Atom-, Kern-, Teilchenphysik
AKO	Astrophysik und Kosmologie
KMQ	Kondensierte Materie, Quantenmaterialien
BEP	Beschleunigerphysik
COM	Computational Physics
BIN	Biophysik, Neurowissenschaften
PAK	Physik von Atmosphäre und Klima
GPH	Geophysik

- Semesterzuordnung:
  - Die Zuordnung einer Lehrveranstaltung zu einem Fachsemester bezieht sich auf Studierende, die das Studium im Wintersemester aufnehmen und gemäß Studienverlaufsplan in der Regelstudienzeit durchlaufen. Die Fachsemester 1,3,5 implizieren daher stets das Angebot der entsprechenden Lehrveranstaltung im WS, die Fachsemester 2,4,6 das Angebot im SoSe.
  - Falls eine Lehrveranstaltung in unterschiedlichen Fachsemestern besucht werden kann, ist dies in der Semesterzuordnungstabelle mit Kreuzen bei mehreren Semestern charakterisiert. Falls der Besuch in einem dieser Fachsemester nicht dem offiziellen Studienverlaufsplan entspricht, ist das entsprechende Kreuz eingeklammert.
- Unterrichtssprache:
  - Deutsch oder Englisch = Modul wird grundsätzlich auf Deutsch abgehalten, auf Wunsch der Studierenden wird zur Unterrichtssprache Englisch übergegangen
  - Englisch oder Deutsch = Modul wird grundsätzlich auf Englisch abgehalten, auf Wunsch der Studierenden wird zur Unterrichtssprache Deutsch übergegangen

  - Englisch und Deutsch = innerhalb des Moduls werden einzelne Lehrveranstaltungen auf Englisch abgehalten, andere auf Deutsch

- Änderungen im Modulhandbuch: Durch Beschluss des Fachbereichsrat können

  (a) Wahlpflichtmodule geändert oder, im Fall mangelnder Kapazität, sogar eingestellt und

  (b) zusätzliche Wahlpflichtmodule eingeführt

  werden. Diese Änderungen werden im Modulhandbuch eingetragen, nicht aber in der offiziellen Fassung der Studienordnung. Das Modulhandbuch zeigt daher einen aktuelleren Stand der Wahlpflichtmodule als die Studienordnung. Eine Übersicht über die Änderungen der letzten Zeit gibt die nachfolgende Tabelle.

Revisionskontrolle:

- 30.10.23 — Änderung des Titels der Lehrveranstaltung *Erweiterter Hamilton-Lagrange Formalismus in Punktmechanik und Feldtheorie 2* im Modul VKHEPB/M in *Abelsche und nicht-abelsche Eichtheorien, Eichtheorie der Gravitation*; entsprechend Änderung des Titels der Lehrveranstaltung *Erweiterter Hamilton-Lagrange Formalismus in Punktmechanik und Feldtheorie 1* in *Erweiterter Hamilton-Lagrange Formalismus in Punktmechanik und Feldtheorie*
- 26.09.23 — Reduktion der Schlüsselqualifikationsmodule *Patentrecht – Forschung – Entwicklung – Innovation I/II* (VPFEI1/2) auf das Schlüsselqualifikationsmodul *Patentrecht* (VPAT)
- 26.09.23 — Nachtrag des versehentlich vergessenen Eintrags der Lehrveranstaltung *Bestärkendes Lernen und sein Einsatz in Spielen, Simulation und Robotik* im Modul *Spezielle Themen der angewandten und technischen Physik für MSc-Studierende* (VKTECM)
- 12.07.23 — Überführung der Lehrveranstaltung *Grundlagen und Interpretationen der Quantenmechanik* in ein eigenständiges Modul (VGIQ)
- 14.06.23 — Aufnahme der Moduls *Einführung in Angewandtes Quantencomputing* aus dem MSc Informatik sowie des Moduls *Gruppentheorie in der Chemie* aus dem MSc Chemie als anrechenbare WP-Module
- 14.06.23 — Ausweitung des Moduls *Numerische Methoden der Physik* (VNUMP) auf 8 CP
- 25.05.23 — Einführung der Kategorie *Unmittelbar anschließende WP-Module*
- 08.05.23 — Einführung der Lehrveranstaltung *Grundlagen und Interpretationen der Quantenmechanik* in das Modul *Spezielle Themen der theoretischen Festkörperphysik für MSc-Studierende*
- 08.05.23 — Überarbeitung des Inhalts der Lehrveranstaltungen *Erweiterter Hamilton-Lagrange Formalismus in Punktmechanik und Feldtheorie 1,2* im Sammelmodul VKHEPB/M
- 22.12.22 — Zerlegung des Sammelmoduls VKT4B/M in 5 einzelne Module (VKT4A-VKT4E), die unregelmäßig angeboten werden
- 09.12.22 — Übergang von "erfolgreiche Bearbeitung von Übungsaufgaben" zu "erfolgreiche Bearbeitung von in der Regel wöchentlichen Übungsaufgaben" bei den Leistungsnachweisen aller Module entsprechend der Absprache mit SLI im Rahmen der Reakkreditierung des BSc/MSc Biophysik
- 08.11.22 — Umbenennung des Schwerpunkts *Elektronische Korrelationen, Quantenoptik (EKQ)* in *Kondensierte Materie, Quantenmaterialien (KMQ)* sowie des Schwerpunkts *Angewandte und Technische Physik, Beschleunigerphysik (ATB)* in *Beschleunigerphysik (BEP)*
- 08.11.22 — Überführen der Lehrveranstaltung *Ursprung der Elemente: Astro-Seminar für Fortgeschrittene* aus dem Modul VKEXASTB/M in das Modul ASTRO3
- 08.11.22 — Überführen der Lehrveranstaltung *Topological States of Matter* aus dem Modul VKT-HFPM in eigenständiges Modul VTSM mit erweitertem Umfang V2.5+Ü1.5 (5 CP)
- 08.09.22 — Einführen der Lehrveranstaltungen *Astronomische Beobachtungstechniken* sowie *Ursprung der Elemente: Astro-Seminar für Fortgeschrittene* in die Module VKEXASTB/M
- 11.07.22 — Einführen des Schwerpunkts *Geophysik* im Modulhandbuch des Bachelorstudiengangs
- 11.07.22 — Überarbeiten der Lehrveranstaltungen *Maschinenlernverfahren I/II*, Einführen einer dritten Lehrveranstaltung in dieser Serie
- 30.06.22 — Einführen des Schwerpunkts *Physik von Atmosphäre und Klima* im Modulhandbuch des Bachelorstudiengangs
- 29.06.22 — Einführen des Wahlpflichtmoduls *Prinzipien moderner Quantentechnologien* (VMQT)

- 08.06.22 — Einführen des Schlüsselqualifikations-Moduls VATOMM sowie Integration des bislang eigenständigen Moduls VKOED (in adaptiertem Umfang) als Lehrveranstaltung in VKHEPB/M gemäß FBR-Beschluss vom 08.06.22
- 31.05.22 — Probeweises Einführen einer Zuordnung von Modulen zu Schwerpunkten

2 Pflichtmodule des Bachelorstudiengangs

2.1 Experimentalphysik

VEX1	**Experimentalphysik 1: Mechanik, Thermodynamik**	Pflichtmodul	10 CP (insg.) = 300 h		5 SWS
	(Experimental Physics 1: Mechanics, Thermodynamics)		Kontaktstudium 5 SWS / 150 h	Selbststudium 150 h	
Inhalte					
Experimentalphysik 1a: Mechanik: Massepunktnäherung, Kräfte, Gravitation, Newton'sche Gesetze, Bewegungsgleichung, Impuls- und Energieerhaltung, Stoßgesetze, trockene Reibung, Reibung im Fluid, harmonischer Oszillator (ungedämpft und gedämpft), starre Körper, Drehmoment, Drehimpuls, Bewegungsgleichung der Rotation, Drehimpulserhaltung, Scheinkräfte bei Rotation, Keplersche Gesetze. *Experimentalphysik 1b: Thermodynamik*: Die Vorlesung Thermodynamik leitet makroskopische Zustandsgrößen ab, durch die Wärme als eine besondere Form der Energie behandelt werden kann und zeigt die Zusammenhänge auf, durch die sich Wärme in Arbeit überführen lässt. Die Inhalte werden auch anhand von zahlreichen Experimenten verdeutlicht. Kenntnisse über folgende Begriffe und Themen werden vermittelt: Temperatur und Druck und ihre Messung, Aggregatzustand, Wärme, molekulare Wärmeleitung, Konvektion, Wärmestrahlung, Thermografie, Zustandsdiagramme, Zustandsgrößen (p, V, T), ideales Gas, kinetische Gastheorie, Maxwell-Boltzmann-Verteilung, Gleichverteilungssatz, Regel von Dulong-Petit, Zustandsgleichung, spezifische Wärme, barometrische Höhenformel, Partialdruck, Osmose, Zustandsänderungen (reversibel/irreversibel, adiabatisch/isotherm/isobar/isochor), Gleichgewicht/Nichtgleichgewicht, Entropie und Wahrscheinlichkeit, Hauptsätze, Kreisprozesse, Wärmekraftmaschinen, Kältemaschinen und Wärmepumpen, reale Gase, Phasenumwandlung (van der Waals-Gleichung), Dampfdruckkurve, Gibbsche Phasenregel, Plancksches Strahlungsgesetz.					

Lernergebnisse/Kompetenzziele	
Das Modul ist das erste einer Serie von drei Modulen bzw. Modulteilen der Experimentalphysik, die die klassische Physik behandeln. Während sich das erste der Beschreibung dynamischer Prozesse unter dem Einfluss von Kräften widmet, haben die beiden anderen (Elektrodynamik und Optik) die Eigenschaften elektromagnetischer Felder und Wellen einschließlich deren Wechselwirkung mit Teilchen und Körpern zum Gegenstand. Das erste Modul betrachtet dynamische Prozesse von zwei Gesichtspunkten aus. Zunächst behandelt es die Mechanik der Massenpunkte und der starren Körper, bei der die zeitliche Entwicklung des einzelnen Objektes deterministisch beschrieben werden kann. Anschließend werden große Ensembles von Teilchen behandelt, die nur noch mittels statistischer Größen charakterisiert werden können. Da die Studierenden des ersten Semesters einen sehr heterogenen Bildungshintergrund haben, beginnt die Behandlung der Mechanik mit einer Wiederholung von Schulstoff und entwickelt daraus systematisch — veranschaulicht durch viele Demonstrationsexperimente — Grundbegriffe und elementare Zusammenhänge der Mechanik und der allgemeinen Physik. Die Studierenden sind anschließend in der Lage, konsequent mit vektoriellen Größen zu operieren und Bewegungsvorgänge der Translation und Rotation durch die Aufstellung von Bewegungsgleichungen und deren Lösung zu analysieren. Im Gegensatz zur Mechanik müssen die Studierenden im Fall der Thermodynamik lernen, mit statistischen Beschreibungen von Teilchenensemblen im thermodynamischen Gleichgewicht und bei (reversiblen) Zustandsänderungen umzugehen. Dieser begriffsbildende Teil der Vorlesung macht im wesentlichen vom Modellsystem des idealen Gases Gebrauch. Die Temperatur wird als Maß für die mittlere kinetische Translationsenergie der Teilchen eingeführt, der Druck als Ergebnis von Impulsüberträgen bei Stößen mit der Wand. Die wichtige Größe der Entropie wird vorgestellt und ihre Bedeutung für die Beschreibung von Zustandsänderungen herausgearbeitet. Neben diesen konzeptionellen Aspekten werden wichtige experimentelle Kenntnisse — unterstützt durch viele Demonstrationsexperimente — vermittelt. So werden Methoden der Messung von Temperatur und Druck vorgestellt, die Bestimmung von Wärmekapazitäten illustriert und verschiedene Arten von Zustandsänderungen und Kreisprozessen diskutiert und vorgeführt. Vom Modellsystem des idealen Gases zu realen Gasen übergehend, werden grundsätzliche Aspekte von Phasenumwandlungen herausgearbeitet. Aus zeitlichen Gründen nicht oder nur am Rande behandelt werden Materialaustauschprozesse und Stoffumwandlungen bei Zustandsänderungen, wie sie bei chemischen Reaktionen und bei Verbrennungsmotoren auftreten. Die Übungen ermöglichen die aktive Anwendung der Grundbegriffe und die Einübung der mathematischen Behandlung der Fallbeispiele. Darüber hinaus werden in den Übungen auch die “Soft Skills” des wissenschaftlichen Diskutierens und des Vortragens in einer kleinen Runde vermittelt. Die in der Vorlesung erworbenen Kenntnisse werden in den Folgesemestern in den Praktika und im Theoriemodul VTH2 vertieft.	
Teilnahmevoraussetzungen für Modul bzw. einzelne Veranstaltungen des Moduls	
keine	
Empfohlene Vorkenntnisse	
keine	
Zuordnung (Studiengang/Fachbereich)	BSc Physik / FB Physik
Verwendbarkeit	BSc Physik, BSc Meteorologie
Häufigkeit des Angebots	jährlich
Dauer	einsemestrig
Modulbeauftragte / Modulbeauftragter	Roskos
Studiennachweise / Prüfungsvorleistungen	
Teilnahmenachweise	regelmäßige Teilnahme an den Übungen
Leistungsnachweise	erfolgreiche Bearbeitung von in der Regel wöchentlichen Übungsaufgaben

Prüfungsvorleistungen	Erbringen aller Leistungsnachweise									
Lehr- / Lernformen	Vorlesung, Übung									
Unterrichts- / Prüfungssprache	Deutsch									
Modulprüfung										
Modulabschlussprüfung, benotet bestehend aus:	mündliche Prüfung (ca. 30 Min.) oder Klausur (90 Min.)									
Lehrveranstaltungen des Moduls	LV-Form	SWS	CP	Pf/WP	Semester					
					1	2	3	4	5	6
Experimentalphysik 1a: Mechanik (Experimental Physics 1a: Mechanics) (die Lehrveranstaltung erstreckt sich in der Form V5+Ü2 über zwei Drittel des Semesters)	V+Ü	3	6	Pf	X					
Experimentalphysik 1b: Thermodynamik (Experimental Physics 1b: Thermodynamics) (die Lehrveranstaltung erstreckt sich in der Form V5+Ü2 über ein Drittel des Semesters)	V+Ü	2	4	Pf	X					
Summe		5	10							

VEX2	**Experimentalphysik 2: Elektrodynamik** (Experimental Physics 2: Electrodynamics)	Pflichtmodul	8 CP (insg.) = 240 h		6 SWS
			Kontaktstudium 6 SWS / 90 h	Selbststudium 150 h	

Inhalte

Veranschaulichung von Vektorfeldern anhand hydrodynamischer Beispiele, Elektrostatik, Potential und potentielle Energie, Satz von Gauß, Faraday-Käfig, van-de-Graaff-Generator, Feldelektronenmikroskop, Kondensator, Dielektrika, elektrischer Strom, Ohmsches Gesetz (mikroskopisch und makroskopisch), Kirchhoffsche Gesetze, Magnetostatik, magnetische Materialeigenschaften, Halleffekt, Amperesches Gesetz, Biot-Savart-Gesetz, Spule, Elektromotor, magnetische Induktion, Wirbelströme, Magnetismus, zeitlich veränderliche Felder, komplexer Widerstand, Rolle der Phase, Transformator, Schwingkreis, Maxwellsche Gleichungen, elektromagnetische Wellen, Dipolstrahlung, Wellenleiter und Resonatoren, Lorentztransformation der Felder.

Lernergebnisse/Kompetenzziele

Das Modul behandelt die klassische Physik. Die Studierenden lernen Grundbegriffe und elementare Zusammenhänge der Physik veranschaulicht durch viele Demonstrationsexperimente kennen. Die Übungen ermöglichen die aktive Anwendung der Grundbegriffe und die Einübung der mathematischen Behandlung der Fallbeispiele. Darüberhinaus werden in den Übungen auch die “Soft Skills” des wissenschaftlichen Diskutierens und des Vortragens in einer kleinen Runde vermittelt.

Teilnahmevoraussetzungen für Modul bzw. einzelne Veranstaltungen des Moduls

keine

Empfohlene Vorkenntnisse

keine

Zuordnung (Studiengang/Fachbereich)	BSc Physik / FB Physik
Verwendbarkeit	BSc Physik, BSc Biophysik, BSc Meteorologie
Häufigkeit des Angebots	jährlich
Dauer	einsemestrig
Modulbeauftragte / Modulbeauftragter	Reifarth
Studiennachweise / Prüfungsvorleistungen	
Teilnahmenachweise	regelmäßige Teilnahme an den Übungen
Leistungsnachweise	erfolgreiche Bearbeitung von in der Regel wöchentlichen Übungsaufgaben
Prüfungsvorleistungen	Erbringen aller Leistungsnachweise
Lehr- / Lernformen	Vorlesung, Übung
Unterrichts- / Prüfungssprache	Deutsch
Modulprüfung	
Modulabschlussprüfung, benotet	
bestehend aus:	mündliche Prüfung (ca. 30 Min.) oder Klausur (90 Min.)

Lehrveranstaltungen des Moduls	LV-Form	SWS	CP	Pf/WP	Semester					
					1	2	3	4	5	6
Experimentalphysik 2: Elektrodynamik (Experimental Physics 2: Electrodynamics)	V+Ü	4+2	8	Pf		X				
Summe		6	8							

VEX3A	**Experimentalphysik 3a: Optik** (Experimental Physics 3a: Optics)	Pflichtmodul	4 CP (insg.) = 120 h		3 SWS
			Kontaktstudium 3 SWS / 45 h	Selbststudium 75 h	

Inhalte

Wellenoptik, ebene Wellen, Polarisation, elektromagnetische Wellen in Materie, komplexer Brechungsindex, Übergang von einem Material in ein anderes, Fresnel-Gleichungen, Interferenz, geometrische Optik, Fermatsches Prinzip, optische Abbildung, optische Instrumente, Beugung, beugungsbegrenztes Auflösungsvermögen, Grundzüge der Abbeschen Abbildungstheorie, quantenoptischer Ansatz, optisches Pumpen und Laserübergänge.

Lernergebnisse/Kompetenzziele

- Verständnis des Ursprungs und grundlegender Eigenschaften elektromagnetischer Wellenphänomene und Verständnis der Wellenoptik als Teil der Elektrodynamik.
- Fähigkeit zur mathematischen Beschreibung der Wellenausbreitung und der Wechselwirkung von Wellen mit Materie auf der Basis der dielektrischen Funktion bzw. des frequenzabhängigen Brechungsindex. Interferenz und Beugung können in in einfachen Geometrien beschrieben werden.
- Verständnis der Analogien zwischen Optik und Quantenmechanik hinischtlich der Wellenphänomene (beispielsweise zwischen dem Tunneleffekt der Quantenmechanik und der verhinderten Totalreflexion der Optik).
- Fähigkeit zur Anwendung von Abbildungsgleichungen und zur Analyse optischer Instrumente einschließlich der Identifikation grundlegender Abbildungsfehler.
- Verständnis der Beugungsbegrenzung der Abbildung.

Teilnahmevoraussetzungen für Modul bzw. einzelne Veranstaltungen des Moduls

keine

Empfohlene Vorkenntnisse

Inhalt der Veranstaltungen *Experimentalphysik 1–2*

Zuordnung (Studiengang/Fachbereich)	BSc Physik / FB Physik
Verwendbarkeit	BSc Physik, BSc Biophysik, BSc Meteorologie
Häufigkeit des Angebots	jährlich
Dauer	einsemestrig
Modulbeauftragte / Modulbeauftragter	Roskos
Studiennachweise / Prüfungsvorleistungen	
Teilnahmenachweise	regelmäßige Teilnahme an den Übungen
Leistungsnachweise	erfolgreiche Bearbeitung von in der Regel wöchentlichen Übungsaufgaben
Prüfungsvorleistungen	Erbringen aller Leistungsnachweise
Lehr- / Lernformen	Vorlesung, Übung
Unterrichts- / Prüfungssprache	Deutsch

Modulprüfung										
Modulabschlussprüfung, benotet										
bestehend aus:	mündliche Prüfung (ca. 30 Min.) oder Klausur (90 Min.)									
Lehrveranstaltungen des Moduls	LV-Form	SWS	CP	Pf/WP	Semester					
					1	2	3	4	5	6
Experimentalphysik 3a: Optik (Experimental Physics 3a: Optics)	V+Ü	2+1	4	Pf			X			
Summe		3	4							

VEX3B	**Experimentalphysik 3b: Atome und Quanten** (Experimental Physics 3b: Atoms and Quanta)	Pflichtmodul	4 CP (insg.) = 120 h		3 SWS
			Kontaktstudium 3 SWS / 45 h	Selbststudium 75 h	

Inhalte

Größe und Nachweis von Atomen, das Photon, Photoeffekt, Comptoneffekt, Hohlraumstrahlung, Rutherfordstreuung, Teilchen als Wellen, Unschärferelation, Bohrsches Atommodell, Grundlagen der Quantenmechanik, Wellenfunktion, Schrödingergleichung, Potentialkasten, harmonischer Oszillator, Tunneleffekt, Quantenmechanik des Wasserstoffatoms, Spin, Feinstruktur, Lambshift, Hyperfeinstruktur, Zeemaneffekt, Paschen-Back-Effekt, Stern Gerlach Experiment, Pauliprinzip, das H_2^+-Molekül

Lernergebnisse/Kompetenzziele

Im Modul lernen Studierende den Paradigmenwechsel von der klassischen zur modernen Physik kennen. Dabei werden Kernkompetenzen der abstrakten nichtdeterministischen Naturbeschreibung im Mikroskosmos vermittelt. Im Modul lernen Studierende viele im Alltag erworbene und im Handeln vielfach bewährte Konzepte in Frage zu stellen. Sie werden in die Lage versetzt, neue und intuitiv schwer zugängliche Konzepte anhand einer Reihe von Schlüsselexperimenten zu plausibilisieren.

Teilnahmevoraussetzungen für Modul bzw. einzelne Veranstaltungen des Moduls

keine

Empfohlene Vorkenntnisse

Inhalt der Veranstaltungen *Experimentalphysik 1–2*

Zuordnung (Studiengang/Fachbereich)	BSc Physik / FB Physik
Verwendbarkeit	BSc Physik, BSc Biophysik, BSc Meteorologie
Häufigkeit des Angebots	jährlich
Dauer	einsemestrig
Modulbeauftragte / Modulbeauftragter	Dörner
Studiennachweise / Prüfungsvorleistungen	
Teilnahmenachweise	regelmäßige Teilnahme an den Übungen
Leistungsnachweise	erfolgreiche Bearbeitung von in der Regel wöchentlichen Übungsaufgaben
Prüfungsvorleistungen	Erbringen aller Leistungsnachweise
Lehr- / Lernformen	Vorlesung, Übung
Unterrichts- / Prüfungssprache	Deutsch
Modulprüfung	
Modulabschlussprüfung, benotet	
bestehend aus:	mündliche Prüfung (ca. 30 Min.) oder Klausur (60 Min.)

Lehrveranstaltungen des Moduls	LV-Form	SWS	CP	Pf/WP	Semester 1	2	3	4	5	6
Experimentalphysik 3b: Atome und Quanten (Experimental Physics 3b: Atoms and Quanta)	V+Ü	2+1	4	Pf			X			
Summe		3	4							

VEX4A	**Experimentalphysik 4a: Kerne und Elementarteilchen** (Experimental Physics 4a: Nuclei and Elementary Particles)	Pflichtmodul	4 CP (insg.) = 120 h		3 SWS
			Kontaktstudium 3 SWS / 45 h	Selbststudium 75 h	

Inhalte

Aufbau und Struktur der Atomkerne; Kernreaktionen: Spaltung, Synthese, Fusion; Kernkraft; Radioaktivität; Streuexperimente; Struktur des Protons; elementare Wechselwirkungen und Teilchen: Leptonen, Hadronen, Quarks, Austauschteilchen; das Quarkmodell, das Standardmodell der Teilchenphysik; starke, schwache und elektromagnetische Wechselwirkung; Nachweismethoden: Wechselwirkung von Strahlung mit Materie, Experimente und Detektoren der Teilchenphysik; Astrokernphysik.

Lernergebnisse/Kompetenzziele

Das Modul vermittelt die erforderlichen Grundlagen zum konzeptionellen Verständnis experimenteller Kern- und Teilchenphysik. Die Studierenden besitzen dann die

- Fähigkeit, die Größenordnungen, Zeit- und Energieskalen kernphysikalischer Vorgänge richtig anzugeben und einzuordnen;
- Fähigkeit zu beurteilen, wann klassische und wann quantenmechanische Konzepte vorteilhafter sind;
- Fähigkeit, theoretische Konzepte und Vorhersagen mit experimentell beobachtbaren Phänomenen zu verknüpfen;
- Fähigkeit, geeignete Technologien zu benennen, um eine gegebene Fragestellung in geeigneter Weise experimentell zu bearbeiten;
- Fähigkeit, die Ergebnisse kern- und teilchenphysikalischer Messungen zu interpretieren und deren Signifikanz einzuschätzen;
- Kenntnis der historischen Zusammenhänge rund um die Entwicklung der Kern- und Teilchenphysik, um deren wissenschaftliche, technologische, gesellschaftliche und politische Bedeutung zu beurteilen.

Teilnahmevoraussetzungen für Modul bzw. einzelne Veranstaltungen des Moduls

keine

Empfohlene Vorkenntnisse

Inhalt der Veranstaltungen *Experimentalphysik 1–3*

Zuordnung (Studiengang/Fachbereich)	BSc Physik / FB Physik
Verwendbarkeit	BSc Physik, BSc Meteorologie
Häufigkeit des Angebots	jährlich
Dauer	einsemestrig
Modulbeauftragte / Modulbeauftragter	Appelshäuser
Studiennachweise / Prüfungsvorleistungen	
Teilnahmenachweise	regelmäßige Teilnahme an den Übungen
Leistungsnachweise	erfolgreiche Bearbeitung von in der Regel wöchentlichen Übungsaufgaben
Prüfungsvorleistungen	Erbringen aller Leistungsnachweise

Lehr- / Lernformen	Vorlesung, Übung									
Unterrichts- / Prüfungssprache	Deutsch									
Modulprüfung										
Modulabschlussprüfung, benotet										
bestehend aus:	mündliche Prüfung (ca. 30 Min.) oder Klausur (90 Min.)									
Lehrveranstaltungen des Moduls	LV-Form	SWS	CP	Pf/WP	Semester					
					1	2	3	4	5	6
Experimentalphysik 4a: Kerne und Elementarteilchen (Experimental Physics 4a: Nuclei and Elementary Particles)	V+Ü	2+1	4	Pf				X		
Summe		3	4							

VEX4B	**Experimentalphysik 4b: Festkörper** (Experimental Physics 4b: Solids)	Pflichtmodul	4 CP (insg.) = 120 h		3 SWS
			Kontaktstudium 3 SWS / 45 h	Selbststudium 75 h	

Inhalte

Einführung: Grundlagenforschung an Festkörpern und Festkörper in der technischen Anwendung, Chemische Bindung, Aufbau kristalliner Festkörper, Streuung an periodischen Strukturen, reziprokes Gitter, Modell freier Elektronen, Bändermodell, Metalle und Isolatoren, Grundvorstellungen Supraleiter/Halbleiter, experimentelle Methoden der Festkörperphysik. Es werden Beispiele aus der aktuellen Forschung diskutiert.

Lernergebnisse/Kompetenzziele

Die Studierenden werden mit einigen grundlegenden Gesetzmäßigkeiten und Formalismen vertraut gemacht, die sich aus der periodischen Anordnung von Atomen/Molekülen im kristallinen Festkörper ergeben. Dabei werden einfache Modelle und Konzepte vorgestellt, die zu einem qualitativen Verständnis wesentlicher Festkörpereigenschaften führen. Die Vorlesung zielt darauf ab, das Abstraktionsvermögen der Studierenden zu schärfen und ihnen ein Gerüst an die Hand zu geben, das sie in die Lage versetzt, grundlegende Phänomene der Festkörperphysik einzuordnen.

Teilnahmevoraussetzungen für Modul bzw. einzelne Veranstaltungen des Moduls

keine

Empfohlene Vorkenntnisse

Inhalt der Veranstaltungen *Experimentalphysik 1–3*

Zuordnung (Studiengang/Fachbereich)	BSc Physik / FB Physik
Verwendbarkeit	BSc Physik, BSc Meteorologie
Häufigkeit des Angebots	jährlich
Dauer	einsemestrig
Modulbeauftragte / Modulbeauftragter	Lang
Studiennachweise / Prüfungsvorleistungen	
Teilnahmenachweise	regelmäßige Teilnahme an den Übungen
Leistungsnachweise	erfolgreiche Bearbeitung von in der Regel wöchentlichen Übungsaufgaben
Prüfungsvorleistungen	Erbringen aller Leistungsnachweise
Lehr- / Lernformen	Vorlesung, Übung
Unterrichts- / Prüfungssprache	Deutsch
Modulprüfung	
Modulabschlussprüfung, benotet	
bestehend aus:	mündliche Prüfung (ca. 30 Min.) oder Klausur (90 Min.)

Lehrveranstaltungen des Moduls	LV-Form	SWS	CP	Pf/WP	Semester					
					1	2	3	4	5	6
Experimentalphysik 4b: Festkörper (Experimental Physics 4b: Solids)	V+Ü	2+1	4	Pf				X		
Summe		3	4							

PEX1	**Anfängerpraktikum 1** (Basic Lab Class 1)	Pflichtmodul	6 CP (insg.) = 180 h		4 SWS
			Kontaktstudium 4 SWS / 60 h	Selbststudium 120 h	

Inhalte

Versuche zur Mechanik, Optik, Wärmelehre

Lernergebnisse/Kompetenzziele

Im diesem Modul erlernen die Studierenden Grundtechniken des Experimentierens. Die Experimente werden in Zweiergruppen durchgeführt. Dadurch wird Teamarbeit und die kritische Diskussion physikalischer und technischer Probleme eingeübt. Das Praktikum vermittelt auch die Fähigkeit zur kritischen Einschätzung der Verlässlichkeit experimenteller Daten, einer Kernkompetenz jedes Naturwissenschaftlers und jeder Naturwissenschaftlerin.

Teilnahmevoraussetzungen für Modul bzw. einzelne Veranstaltungen des Moduls

keine

Empfohlene Vorkenntnisse

Inhalt der Veranstaltungen *Experimentalphysik 1* oder *Experimentalphysik 2*

Zuordnung (Studiengang/Fachbereich)	BSc Physik / FB Physik
Verwendbarkeit	BSc Physik, L3 Physik, BSc Meteorologie
Häufigkeit des Angebots	jedes Semester
Dauer	einsemestrig
Modulbeauftragte / Modulbeauftragter	Krellner
Studiennachweise	
Teilnahmenachweise	regelmäßige Teilnahme am Praktikum
Leistungsnachweise	Abgabe und Bestehen von Praktikumsprotokollen, Bestehen des Abschlusskolloquiums (in Zweiergruppen, ca. 15 Min. pro Person) (weitere Details werden in der Praktikumsordnung festgelegt)
Lehr- / Lernformen	Praktikum
Unterrichts- / Prüfungssprache	Deutsch

Modulprüfung

keine

Lehrveranstaltungen des Moduls	LV-Form	SWS	CP	Pf/WP	Semester					
					1	2	3	4	5	6
Anfängerpraktikum 1 (Basic Lab Class 1)	P	4	6	Pf		X				
Summe		4	6							

PEX2	**Anfängerpraktikum 2** (Basic Lab Class 2)	Pflichtmodul	6 CP (insg.) = 180 h		4 SWS
			Kontaktstudium 4 SWS / 60 h	Selbststudium 120 h	

Inhalte

Versuche zur Elektrizitätslehre

Lernergebnisse/Kompetenzziele

Im diesem Modul erlernen die Studierenden Grundtechniken des Experimentierens. Die Experimente werden in Zweiergruppen durchgeführt. Dadurch wird Teamarbeit und die kritische Diskussion physikalischer und technischer Probleme eingeübt. Das Praktikum vermittelt auch die Fähigkeit zur kritischen Einschätzung der Verlässlichkeit experimenteller Daten, einer Kernkompetenz jedes Naturwissenschaftlers und jeder Naturwissenschaftlerin.

Teilnahmevoraussetzungen für Modul bzw. einzelne Veranstaltungen des Moduls

keine

Empfohlene Vorkenntnisse

Kenntnis des Inhalts der Veranstaltungen *Experimentalphysik 1* oder *Experimentalphysik 2* ist hilfreich, aber nicht zwingend erforderlich, sofern das Modul *Experimentalphysik 2* (VEX2) begleitend zum Praktikum (PEX2) absolviert wird.

Zuordnung (Studiengang/Fachbereich)	BSc Physik / FB Physik
Verwendbarkeit	BSc Physik, L3 Physik, BSc Meteorologie
Häufigkeit des Angebots	jedes Semester
Dauer	einsemestrig
Modulbeauftragte / Modulbeauftragter	Jacoby
Studiennachweise	
Teilnahmenachweise	regelmäßige Teilnahme am Praktikum
Leistungsnachweise	Abgabe und Bestehen von Praktikumsprotokollen, Bestehen des Abschlusskolloquiums (in Zweiergruppen, ca. 15 Min. pro Person) (weitere Details werden in der Praktikumsordnung festgelegt)
Lehr- / Lernformen	Praktikum
Unterrichts- / Prüfungssprache	Deutsch

Modulprüfung

keine

Lehrveranstaltungen des Moduls	LV-Form	SWS	CP	Pf/WP	Semester					
					1	2	3	4	5	6
Anfängerpraktikum 2 (Basic Lab Class 2)	P	4	6	Pf			X			
Summe		4	6							

PEXF	**Fortgeschrittenenpraktikum** (Advanced Lab Class)	Pflichtmodul	12 CP (insg.) = 360 h		6 SWS
			Kontaktstudium 6 SWS / 90 h	Selbststudium 270 h	

Inhalte

Versuche aus den Themenkreisen: Hall-Effekt und Bandstruktur, Optisches Pumpen, Supraleitung und Phasenübergänge, Magnetische Hysterese, Filtern im Fourierraum, Hochfrequenzresonatoren, Ultrahochvakuum und Massenspektrometer, Volumenplasma, Multipol-Magnetfeldanalyse, digitale Steuerung, Mößbauer-Effekt, Röntgenfluoreszenz, β-Spektrometer, Ionisationskammer, γ-γ-Spektroskopie, Blitzlichtfotolyse, IR-Spektroskopie

Lernergebnisse/Kompetenzziele

Das Praktikum vermittelt experimentelle Fertigkeiten aus mehreren Gebieten der modernen Physik. Es wird Teamarbeit im Labor eingeübt. Vermittelt wird auch die Protokollierung von Laborarbeit, die Dokumentation und die kritische Evaluation von experimentellen Daten.

Teilnahmevoraussetzungen für Modul bzw. einzelne Veranstaltungen des Moduls

keine

Empfohlene Vorkenntnisse

Inhalt der Veranstaltungen *Experimentalphysik 1–4*, *Anfängerpraktikum 1–2*

Zuordnung (Studiengang/Fachbereich)	BSc Physik / FB Physik
Verwendbarkeit	BSc Physik, BSc Meteorologie
Häufigkeit des Angebots	jedes Semester
Dauer	einsemestrig
Modulbeauftragte / Modulbeauftragter	Podlech
Studiennachweise	
Teilnahmenachweise	regelmäßige Teilnahme am Praktikum
Leistungsnachweise	Abgabe und Bestehen von Praktikumsprotokollen, Seminarvortrag (weitere Details werden in der Praktikumsordnung festgelegt)
Lehr- / Lernformen	Praktikum
Unterrichts- / Prüfungssprache	Deutsch

Modulprüfung

keine

Lehrveranstaltungen des Moduls	LV-Form	SWS	CP	Pf/WP	Semester 1	2	3	4	5	6
Fortgeschrittenenpraktikum (Advanced Lab Class)	P	6	12	Pf					X	
Summe		6	12							

2.2 Theoretische Physik

VTH1	**Theoretische Physik 1: Mathematische Methoden der Theoretischen Physik** (Theoretical Physics 1: Mathematical Methods of Theoretical Physics)	Pflichtmodul	8 CP (insg.) = 240 h		6.5 SWS
			Kontaktstudium 6.5 SWS / 98 h	Selbststudium 142 h	

Inhalte

Vektorrechnung (Beispiel: Newtonsche Bewegungsgleichungen, Kreisbewegung, Drehimpuls), lineare Differentialgleichungen, komplexe Zahlen (Beispiel: harmonischer Oszillator), elementare Vektoranalysis und Kurvenintegrale (Beispiel: konservative Kräfte), krummlinige Koordinaten, Koordinatentransformationen (Beispiel: Galilei-Transformation, Scheinkräfte), Matrizen (Beispiel: Drehmatrizen, spezielle Relativitätstheorie), einfache Eigenwertprobleme.

Lernergebnisse/Kompetenzziele

Das Modul legt die mathematischen Grundlagen für alle weiteren Vorlesungen der theoretischen Physik. Die Studierenden lernen die wichtigsten Techniken zur Lösung der physikalischen Grundgleichungen in praktischen Problemen aus der Mechanik. Außerdem werden die physikalischen Grundkonzepte für die Beschreibung der Natur eingeführt, wie Raum und Zeit, Naturgesetze als Differentialgleichungen und typische Abstraktionen der Physik wie Punktteilchen.

Teilnahmevoraussetzungen für Modul bzw. einzelne Veranstaltungen des Moduls

keine

Empfohlene Vorkenntnisse

keine

Zuordnung (Studiengang/Fachbereich)	BSc Physik / FB Physik
Verwendbarkeit	BSc Physik, BSc Biophysik, BSc Meteorologie
Häufigkeit des Angebots	jährlich
Dauer	einsemestrig
Modulbeauftragte / Modulbeauftragter	Wagner
Studiennachweise / Prüfungsvorleistungen	
Teilnahmenachweise	regelmäßige Teilnahme an den Übungen
Leistungsnachweise	erfolgreiche Bearbeitung von in der Regel wöchentlichen Übungsaufgaben
Prüfungsvorleistungen	Erbringen aller Leistungsnachweise
Lehr- / Lernformen	Vorlesung, Übung
Unterrichts- / Prüfungssprache	Deutsch
Modulprüfung	
Modulabschlussprüfung, benotet	
bestehend aus:	mündliche Prüfung (ca. 30 Min.) oder Klausur (90 Min.)

Lehrveranstaltungen des Moduls	LV-Form	SWS	CP	Pf/WP	Semester					
					1	2	3	4	5	6
Theoretische Physik 1: Mathematische Methoden der Theoretische Physik (Theoretical Physics 1: Mathematical Methods of Theoretical Physics)	V+Ü	4+2.5	8	Pf	X					
Summe		6.5	8							

VTH2	**Theoretische Physik 2: Klassische Mechanik** (Theoretical Physics 2: Classical Mechanics)	Pflichtmodul	8 CP (insg.) = 240 h		6.5 SWS
			Kontaktstudium 6.5 SWS / 98 h	Selbststudium 142 h	

Inhalte

Newtonsche Bewegungsgleichungen, Erhaltungssätze, Keplerproblem, Lagrangesche und Hamiltonsche Formulierung der Mechanik, Poisson-Klammern, starrer Körper, kräftefreier Kreisel, gekoppelte Oszillatoren, klassische Feldtheorie (schwingende Saite).

Lernergebnisse/Kompetenzziele

In diesem Modul wird die klassische Mechanik auf einem höheren Abstraktionsniveau behandelt. Die Studierenden lernen die Anwendung generalisierter Koordinaten sowie die Formulierung der Bewegungsgleichungen im Phasenraum oder als Variationsprobleme. Die Studierenden lernen die wissenschaftliche Diskussion komplexer theoretischer Zusammenhänge. In den Übungen wird das Lernen in der Gruppe und die Vermittlung eigenen Wissens erlernt.

Teilnahmevoraussetzungen für Modul bzw. einzelne Veranstaltungen des Moduls

keine

Empfohlene Vorkenntnisse

Inhalt der Veranstaltung *Theoretische Physik 1*

Zuordnung (Studiengang/Fachbereich)	BSc Physik / FB Physik
Verwendbarkeit	BSc Physik, BSc Biophysik, BSc Meteorologie
Häufigkeit des Angebots	jährlich
Dauer	einsemestrig
Modulbeauftragte / Modulbeauftragter	Greiner
Studiennachweise / Prüfungsvorleistungen	
Teilnahmenachweise	regelmäßige Teilnahme an den Übungen
Leistungsnachweise	erfolgreiche Bearbeitung von in der Regel wöchentlichen Übungsaufgaben
Prüfungsvorleistungen	Erbringen aller Leistungsnachweise
Lehr- / Lernformen	Vorlesung, Übung
Unterrichts- / Prüfungssprache	Deutsch
Modulprüfung	
Modulabschlussprüfung, benotet	
bestehend aus:	mündliche Prüfung (ca. 30 Min.) oder Klausur (90 Min.)

Lehrveranstaltungen des Moduls	LV-Form	SWS	CP	Pf/WP	Semester					
					1	2	3	4	5	6
Theoretische Physik 2: Klassische Mechanik (Theoretical Physics 2: Classical Mechanics)	V+Ü	4+2.5	8	Pf		X				
Summe		6.5	8							

VTH3	**Theoretische Physik 3: Klassische Elektrodynamik** (Theoretical Physics 3: Classical Electrodynamics)	Pflichtmodul	8 CP (insg.) = 240 h		6.5 SWS
			Kontaktstudium 6.5 SWS / 98 h	Selbststudium 142 h	

Inhalte	
Elektrostatik, Magnetostatik, elektromagnetische Wellen, Maxwellsche Gleichungen und ihre Anwendung, Poynting-Satz und Maxwell-Tensor, Eichung, Elemente der theoretischen Optik, Hohlleiter, Antennen, Lagrange-Formulierung, spezielle Relativitätstheorie der elektromagnetischen Phänomene. Mathematische Methoden: orthogonale Funktionensysteme, spezielle Funktionen, partielle Differentialgleichungen, Greensfunktionen, Residuensatz.	
Lernergebnisse/Kompetenzziele	
In diesem Modul wird mit der klassischen Elektrodynamik eine erste Bekanntschaft mit Feldtheorien vermittelt. Die Studierenden lernen die Grundlagen der Lösungen partieller Differenzialgleichungen, spezielle Funktionen und die relativistische Formulierung der Theorie inklusive der Konsequenzen des relativistischen Weltbildes in Bezug auf die Raumzeit und Kausalität.	
Teilnahmevoraussetzungen für Modul bzw. einzelne Veranstaltungen des Moduls	
keine	
Empfohlene Vorkenntnisse	
Inhalt der Veranstaltungen *Theoretische Physik 1–2*	
Zuordnung (Studiengang/Fachbereich)	BSc Physik / FB Physik
Verwendbarkeit	BSc Physik, BSc Biophysik, BSc Meteorologie
Häufigkeit des Angebots	jährlich
Dauer	einsemestrig
Modulbeauftragte / Modulbeauftragter	Rischke
Studiennachweise / Prüfungsvorleistungen	
Teilnahmenachweise	regelmäßige Teilnahme an den Übungen
Leistungsnachweise	erfolgreiche Bearbeitung von in der Regel wöchentlichen Übungsaufgaben
Prüfungsvorleistungen	Erbringen aller Leistungsnachweise
Lehr- / Lernformen	Vorlesung, Übung
Unterrichts- / Prüfungssprache	Deutsch
Modulprüfung	
Modulabschlussprüfung, benotet	
bestehend aus:	mündliche Prüfung (ca. 30 Min.) oder Klausur (90 Min.)

Lehrveranstaltungen des Moduls	LV-Form	SWS	CP	Pf/WP	Semester					
					1	2	3	4	5	6
Theoretische Physik 3: Klassische Elektrodynamik (Theoretical Physics 3: Classical Electrodynamics)	V+Ü	4+2.5	8	Pf			X			
Summe		6.5	8							

VTH4	**Theoretische Physik 4: Quantenmechanik** (Theoretical Physics 4: Quantum Mechanics)	Pflichtmodul	8 CP (insg.) = 240 h		6.5 SWS
			Kontaktstudium 6.5 SWS / 98 h	Selbststudium 142 h	

Inhalte

mathematische Grundlagen, Schrödingergleichung, Matrizenformulierung, Messprozess und Unschärfe, Zeitentwicklung, eindimensionale Probleme, harmonischer Oszillator und Wasserstoffatom, Störungstheorie, Spin

Lernergebnisse/Kompetenzziele

In diesem Modul wird die Quantenmechanik als wichtigster Bestandteil der modernen Physik vorgestellt. Neben dem mathematischen Apparat und den erkenntnistheoretischen Konsequenzen stehen die wichtigsten Anwendungen der elementaren Quantenmechanik im Vordergrund.

Teilnahmevoraussetzungen für Modul bzw. einzelne Veranstaltungen des Moduls

keine

Empfohlene Vorkenntnisse

Inhalt der Veranstaltungen *Theoretische Physik 1–3*

Zuordnung (Studiengang/Fachbereich)	BSc Physik / FB Physik
Verwendbarkeit	BSc Physik, BSc Biophysik, BSc Meteorologie
Häufigkeit des Angebots	jährlich
Dauer	einsemestrig
Modulbeauftragte / Modulbeauftragter	Kopietz
Studiennachweise / Prüfungsvorleistungen	
Teilnahmenachweise	regelmäßige Teilnahme an den Übungen
Leistungsnachweise	erfolgreiche Bearbeitung von in der Regel wöchentlichen Übungsaufgaben
Prüfungsvorleistungen	Erbringen aller Leistungsnachweise
Lehr- / Lernformen	Vorlesung, Übung
Unterrichts- / Prüfungssprache	Deutsch
Modulprüfung	
Modulabschlussprüfung, benotet	
bestehend aus:	mündliche Prüfung (ca. 30 Min.) oder Klausur (90 Min.)

Lehrveranstaltungen des Moduls	LV-Form	SWS	CP	Pf/WP	Semester 1	2	3	4	5	6
Theoretische Physik 4: Quantenmechanik (Theoretical Physics 4: Quantum Mechanics)	V+Ü	4+2.5	8	Pf				X		
Summe		6.5	8							

VTH5	**Theoretische Physik 5: Thermodynamik und Statistische Physik** (Theoretical Physics 5: Thermodynamics and Statistical Physics)	Pflichtmodul	8 CP (insg.) = 240 h		6.5 SWS
			Kontaktstudium 6.5 SWS / 98 h	Selbststudium 142 h	

Inhalte	
Grunddefinitionen, Carnotprozess und Hauptsätze, thermodynamische Potentiale, Gleichgewichtsbedingungen, Phasenübergänge, Ergodentheorie, Mikro- und Makrozustände, Dichtematrix, Entropie, statistische Gesamtheiten, nichtwechselwirkende Gase, Quantenstatistik und entartete Quantengase, Bose-Einstein-Kondensation, Boltzmanngleichung.	
Lernergebnisse/Kompetenzziele	
Anhand wichtiger Modellsysteme (e.g. klassisches ideales Gas, van-der Waals Zustandsgleichung, Spinsysteme, Bose- und Fermigase) erlernen die Studenten die Anwendung dieser Konzepte auf konkrete Problemstellungen und gewinnen Einblick in ihre Relevanz für moderne Entwicklungen in der Forschung (e.g. ultrakalte Quantengase).	
Teilnahmevoraussetzungen für Modul bzw. einzelne Veranstaltungen des Moduls	
keine	
Empfohlene Vorkenntnisse	
Inhalt der Veranstaltungen *Theoretische Physik 1–4*	
Zuordnung (Studiengang/Fachbereich)	BSc Physik / FB Physik
Verwendbarkeit	BSc Physik, BSc Biophysik, MSc Biophysik, BSc Meteorologie
Häufigkeit des Angebots	jährlich
Dauer	einsemestrig
Modulbeauftragte / Modulbeauftragter	Hofstetter
Studiennachweise / Prüfungsvorleistungen	
Teilnahmenachweise	regelmäßige Teilnahme an den Übungen
Leistungsnachweise	erfolgreiche Bearbeitung von in der Regel wöchentlichen Übungsaufgaben
Prüfungsvorleistungen	Erbringen aller Leistungsnachweise
Lehr- / Lernformen	Vorlesung, Übung
Unterrichts- / Prüfungssprache	Deutsch
Modulprüfung	
Modulabschlussprüfung, benotet	
bestehend aus:	mündliche Prüfung (ca. 30 Min.) oder Klausur (90 Min.)

Lehrveranstaltungen des Moduls	LV-Form	SWS	CP	Pf/WP	Semester					
					1	2	3	4	5	6
Theoretische Physik 5: Thermodynamik und Statistische Physik (Theoretical Physics 5: Thermodynamics and Statistical Physics)	V+Ü	4+2.5	8	Pf					X	
Summe		6.5	8							

VPROG	**Einführung in die Programmierung für Studierende der Physik** (Introduction to Programming for Physicists)	Pflichtmodul	6 CP (insg.) = 180 h		5 SWS
			Kontaktstudium 5 SWS / 75 h	Selbststudium 105 h	

Inhalte

Einführung in eine Objekt-orientierte Programmiersprache, wie C++, Java oder Fortran 2003, sowie in Grundelemente der numerischen Mathematik, wie Rundung, Inter- und Extrapolation, Differentiation, Integration sowie Lösung gewöhnlicher Differentialgleichungen und linearer Gleichungssysteme. Elementare Anwendungen aus verschiedenen Teilgebieten der Physik, z.B. der klassischen Mechanik, der Elektrodynamik oder der Quantenmechanik.

Lernergebnisse/Kompetenzziele

Studierende können Programme zur Lösung eines komplexen physikalischen Problems auf dem Computer erstellen: Sie sind in der Lage, die zugrundeliegenden physikalischen Gleichungen für die numerische Lösung aufzubereiten, das zur Lösung geeignetste numerische Verfahren zu identifizieren und die resultierenden Algorithmen in einer Objekt-orientierten Programmiersprache zu implementieren. Sie sind darin versiert, auch größere Programmpakete effizient zu handhaben und die resultierenden Programme auf modernen Rechenanlagen zur Anwendung zu bringen.

Teilnahmevoraussetzungen für Modul bzw. einzelne Veranstaltungen des Moduls

keine

Empfohlene Vorkenntnisse

Inhalt der Lehrveranstaltungen *Mathematik für Studierende der Physik 1–2* sowie *Theoretische Physik 1–3*

Zuordnung (Studiengang/Fachbereich)	BSc Physik / FB Physik
Verwendbarkeit	BSc Physik
Unmittelbar anschließende WP-Module	*Numerische Methoden der Physik* (VNUMP), *Advanced Introduction to C++, Scientific Computing and Machine Learning* (VCPPML — dieses Modul kann auch als Alternative zu VPROG absolviert werden)
Häufigkeit des Angebots	jährlich
Dauer	einsemestrig
Modulbeauftragte / Modulbeauftragter	Gros
Studiennachweise / Prüfungsvorleistungen	
Teilnahmenachweise	regelmäßige Teilnahme an den Übungen
Leistungsnachweise	erfolgreiche Bearbeitung von in der Regel wöchentlichen Übungsaufgaben; erfolgreicher Abschluss eines Programmierprojekts
Prüfungsvorleistungen	Erbringen aller Leistungsnachweise
Lehr- / Lernformen	Vorlesung, Übung
Unterrichts- / Prüfungssprache	Deutsch

Modulprüfung										
Modulabschlussprüfung, benotet										
bestehend aus:	mündliche Prüfung (ca. 30 Min.) oder Klausur (90 Min.)									
Lehrveranstaltungen des Moduls	LV-Form	SWS	CP	Pf/WP	Semester					
					1	2	3	4	5	6
Einführung in die Programmierung für Studierende der Physik (Introduction to Programming for Physicists)	V+Ü	3+2	6	Pf				X		
Summe		5	6							

2.3 Mathematik

VMATH1	**Mathematik für Studierende der Physik 1**	Pflichtmodul	8 CP (insg.) = 240 h		6 SWS
	(Mathematics for Physicists 1)		Kontaktstudium 6 SWS / 90 h	Selbststudium 150 h	

Inhalte

Grundstrukturen: Reelle und komplexe Zahlen, Lineare Algebra I (Vektorräume, lineare Abbildungen, Matrizen, lineare Gleichungssysteme), Konvergenz und Stetigkeit, Differenzierbarkeit, Taylorreihe, Integral für (vektorwertige) Regelfunktionen, Weierstraßscher Approximationssatz und Fourier-Entwicklung. Fourierintegral.

Lernergebnisse/Kompetenzziele

Das Modul vermittelt erste mathematische Grundkenntnisse für Physiker und Physikerinnen. Die Studierenden erlernen die Grundkonzepte der Mathematik. Als Kernkompetenzen werden abstraktes Denken, logisches Schließen und Beweisführung vermittelt. In den Übungen werden die “Soft Skills” Diskussion in der Kleingruppe sowie der Kurzvortrag geübt.

Teilnahmevoraussetzungen für Modul bzw. einzelne Veranstaltungen des Moduls

keine

Empfohlene Vorkenntnisse

keine

Zuordnung (Studiengang/Fachbereich)	BSc Physik / FB Physik
Verwendbarkeit	BSc Physik, BSc Meteorologie
Häufigkeit des Angebots	jährlich
Dauer	einsemestrig
Modulbeauftragte / Modulbeauftragter	Weth
Studiennachweise / Prüfungsvorleistungen	
Teilnahmenachweise	regelmäßige Teilnahme an den Übungen
Leistungsnachweise	erfolgreiche Bearbeitung von in der Regel wöchentlichen Übungsaufgaben
Prüfungsvorleistungen	Erbringen aller Leistungsnachweise
Lehr- / Lernformen	Vorlesung, Übung
Unterrichts- / Prüfungssprache	Deutsch
Modulprüfung	
Modulabschlussprüfung, benotet	
bestehend aus:	Klausur (90 Min.)

Lehrveranstaltungen des Moduls	LV-Form	SWS	CP	Pf/WP	Semester 1	2	3	4	5	6
Mathematik für Studierende der Physik 1 (Mathematics for Physicists 1)	V+Ü	4+2	8	Pf	X					
Summe		6	8							

VMATH2	**Mathematik für Studierende der Physik 2** (Mathematics for Physicists 2)	Pflichtmodul	8 CP (insg.) = 240 h		6 SWS
			Kontaktstudium 6 SWS / 90 h	Selbststudium 150 h	

Inhalte

Lineare Algebra II (Determinanten, Eigenwerte, klassische Matrixgruppen, Exponentialabbildung für Matrizen), gewöhnliche Differentialgleichungen I, Grundlagen der mehrdimensionalen Differentialrechnung, Funktionentheorie vom Cauchy'schen Integralsatz zum Residuensatz

Lernergebnisse/Kompetenzziele

Das Modul vertieft und erweitert mathematische Grundkenntnisse. Die Kernkompetenzen abstraktes Denken, logisches Schließen und Beweisführung werden weiter trainiert. In den Übungen werden die "Soft Skills" Diskussion in der Kleingruppe sowie der Kurzvortrag geübt.

Teilnahmevoraussetzungen für Modul bzw. einzelne Veranstaltungen des Moduls

keine

Empfohlene Vorkenntnisse

Inhalt der Veranstaltung *Mathematik für Studierende der Physik 1*

Zuordnung (Studiengang/Fachbereich)	BSc Physik / FB Physik
Verwendbarkeit	BSc Physik, BSc Meteorologie
Häufigkeit des Angebots	jährlich
Dauer	einsemestrig
Modulbeauftragte / Modulbeauftragter	Weth
Studiennachweise / Prüfungsvorleistungen	
Teilnahmenachweise	regelmäßige Teilnahme an den Übungen
Leistungsnachweise	erfolgreiche Bearbeitung von in der Regel wöchentlichen Übungsaufgaben
Prüfungsvorleistungen	Erbringen aller Leistungsnachweise
Lehr- / Lernformen	Vorlesung, Übung
Unterrichts- / Prüfungssprache	Deutsch
Modulprüfung	
Modulabschlussprüfung, benotet	
bestehend aus:	Klausur (90 Min.)

Lehrveranstaltungen des Moduls	LV-Form	SWS	CP	Pf/WP	Semester 1	2	3	4	5	6
Mathematik für Studierende der Physik 2 (Mathematics for Physicists 2)	V+Ü	4+2	8	Pf		X				
Summe		6	8							

VMATH3	**Mathematik für Studierende der Physik 3** (Mathematics for Physicists 3)	Pflichtmodul	8 CP (insg.) = 240 h		6 SWS
			Kontaktstudium 6 SWS / 90 h	Selbststudium 150 h	

Inhalte

Satz über implizit definierte Funktionen und Anwendungen, Differenzierbare Untermannigfaltigkeiten des euklidischen Raums, Vektoranalysis, Integration von Funktionen mehrerer Variabler und der Transformationssatz, Integralsätze, gewöhnliche Differentialgleichungen II (dynamische Systeme)

Lernergebnisse/Kompetenzziele

Das Modul vertieft und erweitert mathematische Grundkenntnisse. Die Kernkompetenzen abstraktes Denken, logisches Schließen und Beweisführung werden weiter trainiert. In den Übungen werden die "Soft Skills" Diskussion in der Kleingruppe sowie der Kurzvortrag geübt.

Teilnahmevoraussetzungen für Modul bzw. einzelne Veranstaltungen des Moduls

keine

Empfohlene Vorkenntnisse

Inhalt der Veranstaltungen *Mathematik für Studierende der Physik 1–2*

Zuordnung (Studiengang/Fachbereich)	BSc Physik / FB Physik
Verwendbarkeit	BSc Physik, BSc Meteorologie
Häufigkeit des Angebots	jährlich
Dauer	einsemestrig
Modulbeauftragte / Modulbeauftragter	Weth
Studiennachweise / Prüfungsvorleistungen	
Teilnahmenachweise	regelmäßige Teilnahme an den Übungen
Leistungsnachweise	erfolgreiche Bearbeitung von in der Regel wöchentlichen Übungsaufgaben
Prüfungsvorleistungen	Erbringen aller Leistungsnachweise
Lehr- / Lernformen	Vorlesung, Übung
Unterrichts- / Prüfungssprache	Deutsch
Modulprüfung	
Modulabschlussprüfung, benotet	
bestehend aus:	Klausur (90 Min.)

Lehrveranstaltungen des Moduls	LV-Form	SWS	CP	Pf/WP	Semester 1	2	3	4	5	6
Mathematik für Studierende der Physik 3 (Mathematics for Physicists 3)	V+Ü	4+2	8	Pf			X			
Summe		6	8							

2.4 Bachelorarbeit

EWA	**Einführung in das wissenschaftliche Arbeiten**	Pflichtmodul	6 CP (insg.) = 180 h		4 SWS
	(Introduction to Scientific Work)		Kontaktstudium 4 SWS / 60 h	Selbststudium 120 h	

Inhalte

Bachelorseminar: Wechselnde Themen aus dem Bereich der experimentellen oder theoretischen Physik

Vorbereitung Bachelorarbeit: Schon vor Ausgabe des Themas der Bachelorarbeit machen sich die Studierenden mit den spezifischen wissenschaftlichen Fragestellungen sowie den verwendeten Methoden (Messmethoden, Computerwerkzeugen, etc) der Arbeitsgruppe vertraut, in der sie die Bachelorarbeit durchführen wollen.

Lernergebnisse/Kompetenzziele

Studierende können sich über spezialisierte Fachliteratur selbstständig in den engeren wissenschaftlichen Hintergrund eines Projekts einarbeiten sowie die für seine praktische Umsetzung nötigen experimentellen oder theoretischen Techniken identifizieren und anwenden. Sie können eine komplexe Problemstellung, ihren wissenschaftlichen Hintergrund und die erarbeitete Lösung in einem (mindestens halbstündigen) freien Vortrag vor einem sachkundigen Publikum präsentieren.

Teilnahmevoraussetzungen für Modul bzw. einzelne Veranstaltungen des Moduls

Module VEX1, VEX2, VEX3, VTH1, VTH2, VTH3, VMATH1, VMATH2, VMATH3, PEX1, PEX2

Empfohlene Vorkenntnisse

Inhalt der Veranstaltungen *Experimentalphysik 1–3*, *Theoretische Physik 1–3*, *Mathematik für Studierende der Physik 1–3*

Zuordnung (Studiengang/Fachbereich)	BSc Physik / FB Physik
Verwendbarkeit	BSc Physik
Häufigkeit des Angebots	jedes Semester
Dauer	einsemestrig
Modulbeauftragte / Modulbeauftragter	Studiendekan Physik
Studiennachweise	
Teilnahmenachweise	regelmäßige Teilnahme am Seminar
Leistungsnachweise	erfolgreiche Dokumentation der im Praktikum *Vorbereitung Bachelorarbeit* erfolgten Einarbeitung in das für die Bachelorarbeit ausgewählte Fachgebiet im Gespräch mit dem vorgesehenen Betreuer bzw. der vorgesehenen Betreuerin sowie Seminarvortrag (unbenotet)
Lehr- / Lernformen	Seminar, Praktikum
Unterrichts- / Prüfungssprache	Deutsch oder Englisch je nach gewählter Arbeitsgruppe

Modulprüfung

keine

Lehrveranstaltungen des Moduls	LV-Form	SWS	CP	Pf/WP	Semester					
					1	2	3	4	5	6
Bachelorseminar (Bachelor Seminar)	S	2	3	Pf						X
Vorbereitung Bachelorarbeit (Preparation for Bachelor's Project)	P	2	3	Pf						X
Summe		4	6							

BA	**Bachelorarbeit** (Bachelor's Project)	Pflichtmodul	12 CP (insg.) = 360 h		0 SWS
			Kontaktstudium 0 SWS / 0 h	Selbststudium 360 h	

Inhalte

Eigenständige wissenschaftliche Arbeit zu einem mit dem Betreuer bzw der Betreuerin vereinbarten Thema, unter Anleitung durch den Betreuer bzw die Betreuerin

Lernergebnisse/Kompetenzziele

Das Modul dient einer eigenständigen wissenschaftlichen Arbeit unter Anleitung. Nach Absolvieren sind Studierende in der Lage, gelerntes Wissen auf einen neuen Zusammenhang hoher Komplexität anzuwenden und auf dieser Basis ein vorgegebenes neues Problem zu lösen sowie einen wissenschaftlichen Bericht daüber zu verfassen.
Das Modul wird durch das Praktikum *Vorbereitung Bachelorarbeit* des Moduls EWA vorbereitet und vom *Bachelorseminar* des Moduls EWA begleitet.

Teilnahmevoraussetzungen für Modul bzw. einzelne Veranstaltungen des Moduls

Zulassungsvoraussetzungen gemäß §35 Abs.4.

Empfohlene Vorkenntnisse

Inhalt der Veranstaltungen *Experimentalphysik 1–2*, *Theoretische Physik 1–2*, weitere Pflicht- sowie Wahlpflichtveranstaltungen je nach Fachgebiet der geplanten Bachelorarbeit

Zuordnung (Studiengang/Fachbereich)	BSc Physik / FB Physik
Verwendbarkeit	BSc Physik
Häufigkeit des Angebots	permanent
Dauer	360 h
Modulbeauftragte / Modulbeauftragter	Studiendekan Physik
Studiennachweise / Prüfungsvorleistungen	
Teilnahmenachweise	keine
Leistungsnachweise	keine
Prüfungsvorleistungen	keine
Lehr- / Lernformen	angeleitete wissenschaftliche Projektarbeit
Unterrichts- / Prüfungssprache	Deutsch oder Englisch je nach gewählter Arbeitsgruppe
Modulprüfung	
Modulabschlussprüfung, benotet	
bestehend aus:	schriftliche Darstellung des Bachelorprojekts und seiner Ergebnisse in Form einer Bachelorarbeit

Lehrveranstaltungen des Moduls	LV-Form	SWS	CP	Pf/WP	Semester					
					1	2	3	4	5	6
Bachelorarbeit (Bachelor's Project)			12	Pf						X
Summe			12							

2.5 Pflichtmodule des Schwerpunkts *Physik von Atmosphäre und Klima* (noch nicht offiziell genehmigt)

Im Schwerpunkt *Physik von Atmosphäre und Klima* sind alle Pflichtmodule des BSc Physik ohne Schwerpunkt zu absolvieren, d.h. alle in den Abschnitten 2.1–2.4 aufgeführten Module, mit Ausnahme der Module *Experimentalphysik 4a: Kerne und Elementarteilchen* (VEX4A), *Experimentalphysik 4b: Festkörper* (VEX4B) und *Fortgeschrittenenpraktikum* (PEXF). Die Module VEX4A und VEX4B entfallen als Pflichtmodule, können aber als Wahlpflichtmodule absolviert werden. Anstelle des Moduls *Fortgeschrittenenpraktikum* (PEXF) ist im Schwerpunkt das vom Umfang her reduzierte Modul *Fortgeschrittenenpraktikum (kompakt)* (PEXFK) zu absolvieren (Modulbeschreibung im Anschluss). Im Schwerpunkt ist darüberhinaus das Absolvieren der folgenden Import- bzw. Teilimportmodule Pflicht:

- *Allgemeine Meteorologie und Klimatologie*
  (Modul EMETA des BSc Meteorologie, Modulbeschreibung siehe Modulhandbuch des BSc Meteorologie)
- *Einführung in die Atmosphärendynamik (kompakt)*
  (Teilimportmodul EMETBK — Modulbeschreibung im Anschluss)
- *Physik und Chemie der Atmosphäre 1*
  (Modul METPC des BSc Meteorologie, Modulbeschreibung siehe Modulhandbuch des BSc Meteorologie)
- *Numerische Wettervorhersage*
  (Modul METV des BSc Meteorologie, Modulbeschreibung siehe Modulhandbuch des BSc Meteorologie)
- *Atmosphärendynamik 3*
  (Modul METTH des BSc Meteorologie, Modulbeschreibung siehe Modulhandbuch des BSc Meteorologie)
- *Meteorologisches Praktikum (kompakt)*
  (Teilimportmodul METPK — Modulbeschreibung im Anschluss)

PEXFK	**Fortgeschrittenenpraktikum (kompakt)** (Advanced Lab Class (compact))	Pflichtmodul des Schwerpunkts PAK	6 CP (insg.) = 180 h		3 SWS
			Kontaktstudium 3 SWS / 45 h	Selbststudium 135 h	

Inhalte

Versuche aus den Themenkreisen: Hall-Effekt und Bandstruktur, Optisches Pumpen, Supraleitung und Phasenübergänge, Magnetische Hysterese, Filtern im Fourierraum, Hochfrequenzresonatoren, Ultrahochvakuum und Massenspektrometer, Volumenplasma, Multipol-Magnetfeldanalyse, digitale Steuerung, Mößbauer-Effekt, Röntgenfluoreszenz, β-Spektrometer, Ionisationskammer, γ-γ-Spektroskopie, Blitzlichtfotolyse, IR-Spektroskopie

Lernergebnisse/Kompetenzziele

Das Praktikum vermittelt experimentelle Fertigkeiten aus mehreren Gebieten der modernen Physik. Es wird Teamarbeit im Labor eingeübt. Vermittelt wird auch die Protokollierung von Laborarbeit, die Dokumentation und die kritische Evaluation von experimentellen Daten.

Teilnahmevoraussetzungen für Modul bzw. einzelne Veranstaltungen des Moduls

keine

Empfohlene Vorkenntnisse

Inhalt der Veranstaltungen *Experimentalphysik 1–4*, *Anfängerpraktikum 1–2*

Zuordnung (Studiengang/Fachbereich)	BSc Physik / FB Physik
Verwendbarkeit	BSc Physik mit Schwerpunkt *Physik von Atmosphäre und Klima*
Zugehörigkeit zu Schwerpunkten	PAK
Häufigkeit des Angebots	jedes Semester
Dauer	einsemestrig
Modulbeauftragte / Modulbeauftragter	Podlech
Studiennachweise	
Teilnahmenachweise	regelmäßige Teilnahme am Praktikum
Leistungsnachweise	Abgabe und Bestehen von Praktikumsprotokollen, Seminarvortrag (weitere Details werden in der Praktikumsordnung festgelegt)
Lehr- / Lernformen	Praktikum
Unterrichts- / Prüfungssprache	Deutsch

Modulprüfung

keine

Lehrveranstaltungen des Moduls	LV-Form	SWS	CP	Pf/WP	Semester					
					1	2	3	4	5	6
Fortgeschrittenenpraktikum (kompakt) (Advanced Lab Class (compact))	P	3	6	Pf					X	
Summe		3	6							

EMETBK	**Einführung in die Atmosphärendynamik (kompakt)** (Introductory Atmospheric Dynamics (compact))	Pflichtmodul des Schwerpunkts PAK	9 CP (insg.) = 270 h		7 SWS
			Kontaktstudium 7 SWS / 105 h	Selbststudium 165 h	

Inhalte

Atmosphärendynamik 1: Kontinuitätsgleichung, Impulssatz, Grundzüge der Thermodynamik, Elementare Eigenschaften und Anwendungen der Grundgleichungen der Atmosphärendynamik / Equation of continuity, momentum equation, fundamental thermodynamics, elementary properties and applications of the basic equations of atmospheric dynamics

Atmosphärendynamik 2: Wirbeldynamik, Flachwassertheorie / Vortex dynamics, shallow-water theory

Introduction to IT and Programming: Einführung in die Informationstechnologie, die computergestützte Textverarbeitung und die Programmierung (an Beispielen aus der Meteorologie)

Lernergebnisse/Kompetenzziele

Das Modul dient der Vermittlung von meteorologischem Grundwissen. Es bietet eine Einführung in die Theorie der atmosphärischen Dynamik. Es werden Grundlagen für alle weiteren Vorlesungen in theoretischer Meteorologie gelegt. Dabei lernen die Studierenden die theoretische Modellbildung in der Meteorologie ebenso kennen wie die wissenschaftliche Diskussion komplexer theoretischer Zusammenhänge.
In Übungen zu den Vorlesungen wird der Stoff selbstständig vertieft. Dort werden das Lernen in der Gruppe und die Vermittlung eigenen Wissens erlernt. In der begleitend zur Vorlesung *Atmosphärendynamik 1* angebotenen Lehrveranstaltung *Einführung in IT und Programmierung* gewinnen die Studierenden erste Erfahrungen mit computergestütztem Arbeiten im meteorologischen Kontext.

Teilnahmevoraussetzungen für Modul bzw. einzelne Veranstaltungen des Moduls

keine

Empfohlene Vorkenntnisse

Atmosphärendynamik 1: Inhalt der Veranstaltungen *Mathematik für Studierende der Physik 1,2*

Atmosphärendynamik 2: Inhalt der Veranstaltung *Atmospheric Dynamics 1*

Introduction to IT and Programming: –

Zuordnung (Studiengang/Fachbereich)	BSc Physik / FB Geowissenschaften/Geographie
Verwendbarkeit	BSc Physik mit Schwerpunkt *Physik von Atmosphäre und Klima*
Zugehörigkeit zu Schwerpunkten	PAK
Häufigkeit des Angebots	jährlich
Dauer	zweisemestrig
Modulbeauftragte / Modulbeauftragter	Achatz
Studiennachweise / Prüfungsvorleistungen	
Teilnahmenachweise	*Atmosphärendynamik 1*: regelmäßige Teilnahme an den Übungen *Atmosphärendynamik 2*: regelmäßige Teilnahme an den Übungen *Introduction to IT and Programming*: regelmäßige Teilnahme an den Übungen

Leistungsnachweise	*Atmosphärendynamik 1*: erfolgreiche Bearbeitung von in der Regel wöchentlichen Übungsaufgaben *Atmosphärendynamik 2*: erfolgreiche Bearbeitung von in der Regel wöchentlichen Übungsaufgaben *Introduction to IT and Programming*: erfolgreiche Bearbeitung von in der Regel wöchentlichen Übungsaufgaben
Prüfungsvorleistungen	Erbringen aller Leistungsnachweise
Lehr- / Lernformen	Vorlesung, Übung
Unterrichts- / Prüfungssprache	Englisch oder Deutsch
Modulprüfung	
Modulabschlussprüfung, benotet	
bestehend aus:	mündliche Prüfung (30 Min.) oder Klausur (120 Min.)

Lehrveranstaltungen des Moduls	LV-Form	SWS	CP	Pf/WP	Semester					
					1	2	3	4	5	6
Atmosphärendynamik 1 (Atmospheric Dynamics 1)	V+Ü	2+1	4	Pf			X			
Atmosphärendynamik 2 (Atmospheric Dynamics 2)	V+Ü	2+1	4	Pf				X		
Introduction to IT and Programming	V+Ü	$\frac{1}{2} + \frac{1}{2}$	1	Pf			X			
Summe		7	9							

METPK	**Meteorologisches Praktikum (kompakt)** (Meteorology Lab Class (compact))	Pflichtmodul des Schwerpunkts PAK	4 CP (insg.) = 120 h		2 SWS
			Kontaktstudium 2 SWS / 30 h	Selbststudium 90 h	

Inhalte

Die Studierenden lernen die grundlegenden Techniken und Instrumente für meteorologische Messungen kennen. Sie führen in Zweiergruppen kurze Messreihen meteorologischer Parameter durch, interpretieren diese und erstellen kurze schriftliche Berichte. Auf die Diskussion, der mit Messungen verbundenen Fehler und die kritische Beurteilung der Verlässlichkeit experimenteller, Daten wird besonderen Wert gelegt. Der praktische Teil wird durch Kurzvorträge und ein Abschlusskolloquium ergänzt.

Lernergebnisse/Kompetenzziele

Das Modul dient der Vermittlung von meteorologischem Grundwissen, aber auch bereits der fachlichen Spezialisierung. Die Studierenden erlernen die Grundlagen meteorologischer Messungen.

Teilnahmevoraussetzungen für Modul bzw. einzelne Veranstaltungen des Moduls

Modul EMETA

Empfohlene Vorkenntnisse

Inhalt des Moduls EMETA

Zuordnung (Studiengang/Fachbereich)	BSc Physik / FB Geowissenschaften/Geographie
Verwendbarkeit	BSc Physik mit Schwerpunkt *Physik von Atmosphäre und Klima*
Zugehörigkeit zu Schwerpunkten	PAK
Häufigkeit des Angebots	jährlich
Dauer	einsemestrig
Modulbeauftragte / Modulbeauftragter	Kürten
Studiennachweise	
Teilnahmenachweise	regelmäßige Teilnahme an allen Veranstaltungen des Moduls
Leistungsnachweise	Praktikumsprotokolle, Vortrag, Abschlusskolloquium
Lehr- / Lernformen	Praktikum
Unterrichts- / Prüfungssprache	Deutsch

Modulprüfung

keine

Lehrveranstaltungen des Moduls	LV-Form	SWS	CP	Pf/WP	Semester					
					1	2	3	4	5	6
Meteorologisches Instrumentenpraktikum 1 (Lab Class Meteorology Instruments 1)	P	2	4	Pf						X
Summe		2	4							

2.6 Pflichtmodule des Schwerpunkts *Geophysik* (noch nicht offiziell genehmigt)

Im Schwerpunkt *Geophysik* sind alle Pflichtmodule des BSc Physik ohne Schwerpunkt zu absolvieren, d.h. alle in den Abschnitten 2.1–2.4 aufgeführten Module. Im Schwerpunkt ist darüberhinaus das Absolvieren der folgenden Teilimportmodule Pflicht:

- *Einführung in die Geophysik*
  (Teilimportmodul PGPE — Modulbeschreibung im Anschluss)
- *Vertiefung Geophysik*
  (Teilimportmodul PGPV — Modulbeschreibung im Anschluss)

PGPE	**Einführung in die Geophysik** (Introduction to Geophysics)	Pflichtmodul des Schwerpunkts GPH	12 CP (insg.) = 360 h		9 SWS
			Kontaktstudium 9 SWS / 135 h	Selbststudium 225 h	

Inhalte

Das Modul umfasst drei Vorlesungen mit Übungen: den Vorkurs Geophysik, sowie die Einführung in die Geophysik I und II, in denen die Grundlagen der Geophysik erläutert und erarbeitet werden. Der Vorkurs Geophysik dient der Einführung in die Informationstechnologie und Programmierung, unter Einbeziehung von Beispielen aus der Geophysik. Die Einführung in die Geophysik (I und II) erstreckt sich über insgesamt zwei Semester. Das Themenspektrum umfasst Inhalte und Methoden aus der Allgemeinen und der Angewandten Geophysik. So werden die Grundlagen der Seismologie, Aufbau und Struktur der Erde, Geodynamik, Geothermie und Grundlagen der Gesteinsphysik behandelt. Weitere Themen sind Figur und Schwerefeld, sowie das Magnetfeld der Erde, Erdgezeiten, Gravimetrie, Magnetik und Geoelektrik. Die Vermittlung der Lehrinhalte kann ggf. auch durch Übungen im Gelände und im Labor (z.B. zur Seismik) ergänzt werden.

Lernergebnisse/Kompetenzziele

Das Modul dient der Vermittlung von geophysikalischem Grundwissen. Dabei werden die Grundlagen für alle weiteren Lehrveranstaltungen im Bereich Geophysik gelegt.
Im Vorkurs Geophysik erlernen die Studierenden Grundlagen der computergestützten Datenverarbeitung für geophysikalische Anwendungen.
In den Einführungsvorlesungen erwerben die Studierenden grundlegende Kenntnisse in der Allgemeinen und der Angewandten Geophysik. Die Vorlesungen und Übungen dienen dem Verständnis von physikalischen Prozessen sowie dem Erlernen von physikalischen/mathematischen Methoden zur Untersuchung des Erdkörpers und seiner Umgebung. Geophysikalische Modellvorstellungen werden formuliert, quantifiziert und anhand von Fallstudien analysiert. Die Ergebnisse werden kritisch beurteilt und auf ihre Zweckmäßigkeit hin überprüft.

Teilnahmevoraussetzungen für Modul bzw. einzelne Veranstaltungen des Moduls

keine

Empfohlene Vorkenntnisse

Vorkurs Geophysik: keine

Geophysik 1: Inhalt der Module *Mathematik für Studierende der Physik 1,2* sowie *Experimentalphysik 1,2*

Geophysik 2: Inhalt der Module *Mathematik für Studierende der Physik 1,2* sowie *Experimentalphysik 1,2*

Zuordnung (Studiengang/Fachbereich)	BSc Physik / FB Geowissenschaften/Geographie
Verwendbarkeit	BSc Physik mit Schwerpunkt *Geophysik*
Zugehörigkeit zu Schwerpunkten	GPH
Häufigkeit des Angebots	jährlich
Dauer	dreisemestrig
Modulbeauftragte / Modulbeauftragter	Rümpker
Studiennachweise / Prüfungsvorleistungen	
Teilnahmenachweise	*Vorkurs Geophysik*: aktive Teilnahme an den Übungen *Geophysik 1*: aktive Teilnahme an den Übungen

Leistungsnachweise	*Geophysik 2*: aktive Teilnahme an den Übungen *Vorkurs Geophysik*: Präsentation *Geophysik 1*: keine (die Bearbeitung der wöchentlichen Übungsaufgaben wird empfohlen) *Geophysik 2*: keine (die Bearbeitung der wöchentlichen Übungsaufgaben wird empfohlen)
Prüfungsvorleistungen	keine
Lehr- / Lernformen	Vorlesungen, Übungen
Unterrichts- / Prüfungssprache	Deutsch
Modulprüfung	
kumulative Modulprüfung, benotet bestehend aus:	je eine Klausur (90 Min.) zu den beiden Lehrveranstaltungen *Geophysik 1* und *Geophysik 2*
Bildung der Modulnote:	die Bessere der beiden Einzelnoten zählt als Modulnote

Lehrveranstaltungen des Moduls	LV-Form	SWS	CP	Pf/WP	Semester					
					1	2	3	4	5	6
Vorkurs Geophysik (Preparatory Class Geophysics)	V+Ü	2+1	4	Pf	X					
Geophysik 1 (Geophysics 1)	V+Ü	2+1	4	Pf			X			
Geophysik 2 (Geophysics 2)	V+Ü	2+1	4	Pf				X		
Summe		9	12							

PGPV	**Vertiefung Geophysik** (Advanced Geophysics)	Pflichtmodul des Schwerpunkts GPH	12 CP (insg.) = 360 h		9 SWS
			Kontaktstudium 9 SWS / 135 h	Selbststudium 225 h	

Inhalte

Das Modul umfasst drei Vorlesungen mit Übungen: die Vertiefungsvorlesungen zur Seismologie und zur Geodynamik, sowie das Geophysik-Projekt in dem eine geophysikalische Fragestellung (z.B. Entwicklung geeigneter Software zur Analyse aktueller Datensätze; Durchführung von Messungen) unter Anleitung im Rahmen einer Hausarbeit bearbeitet wird. Die Vertiefungsvorlesungen erweitern das in den Einführungen zur Geophysik erworbene Wissen. In der Seismologie geht es um Verfahren zur Untersuchung des Aufbaus und der Struktur des Erdkörpers. In der Geodynamik werden die Grundlagen zur Kontinuumsmechanik, Rheologie, Fluiddynamik und Wärmetransport in der Erde gelegt.

Lernergebnisse/Kompetenzziele

Das Modul dient der Erweiterung von geophysikalischem Grundwissen. Dabei werden auch die Grundlagen für die Durchführung der Bachelorarbeit im Schwerpunkt Geophysik gelegt. Die Studierenden erlernen Methoden und Verfahren aus den geophysikalischen Fachgebieten, insbesondere der Seismologie und der Geodynamik. Sie wenden physikalische Gesetze auf geowissenschaftliche Fragestellungen an, sie analysieren und interpretieren geophysikalische Datensätze, und beurteilen komplexe geophysikalische Zusammenhänge. Im Rahmen des Geophysik-Projekts erhalten die Studierenden auch einen Einblick in aktuelle Forschungsprojekte der geophysikalischen Arbeitsgruppen.

Teilnahmevoraussetzungen für Modul bzw. einzelne Veranstaltungen des Moduls

keine

Empfohlene Vorkenntnisse

Inhalt des Moduls *Einführung in die Geophysik*

Zuordnung (Studiengang/Fachbereich)	BSc Physik / FB Geowissenschaften/Geographie
Verwendbarkeit	BSc Physik mit Schwerpunkt *Geophysik*
Zugehörigkeit zu Schwerpunkten	GPH
Häufigkeit des Angebots	jährlich
Dauer	zweisemestrig
Modulbeauftragte / Modulbeauftragter	Duretz
Studiennachweise / Prüfungsvorleistungen	
Teilnahmenachweise	*Seismologie*: aktive Teilnahme an den Übungen *Geodynamik*: aktive Teilnahme an den Übungen *Geophysik-Projekt*: aktive Teilnahme an den Übungen
Leistungsnachweise	*Seismologie*: keine (die Bearbeitung der wöchentlichen Übungsaufgaben wird empfohlen) *Geodynamik*: keine (die Bearbeitung der wöchentlichen Übungsaufgaben wird empfohlen) *Geophysik-Projekt*: Hausarbeit
Prüfungsvorleistungen	keine
Lehr- / Lernformen	Vorlesungen, Übungen
Unterrichts- / Prüfungssprache	Deutsch

Modulprüfung										
kumulative Modulprüfung, benotet bestehend aus:	je eine Klausur (90 Min.) zu den beiden Lehrveranstaltungen *Seismologie* und *Geodynamik*									
Bildung der Modulnote:	arithmetisches Mittel der beiden Einzelnoten									
Lehrveranstaltungen des Moduls	LV-Form	SWS	CP	Pf/WP	Semester					
					1	2	3	4	5	6
Seismologie (Seismology)	V+Ü	2+1	4	Pf					X	
Geodynamik (Geodynamics)	V+Ü	2+1	4	Pf						X
Geophysik-Projekt (Geophysics Project)	V+Ü	1+2	4	Pf					X	X
Summe		9	12							

3 Wahlpflichtmodule des Bachelorstudiengangs I) Jährlich angebotene Module

3.1 Fachgebietsübergreifende Module

VHQM	**Höhere Quantenmechanik**	Wahlpflicht-modul	8 CP (insg.) = 240 h		6 SWS
	(Advanced Quantum Mechanics)		Kontaktstudium 6 SWS / 90 h	Selbststudium 150 h	
Inhalte					
Grundlagen der relativistischen Quantenmechanik, Klein-Gordon-Gleichung, Dirac-Gleichung, Symmetrien in der Quantenmechanik, Vielteilchentheorien im Fock-Raum, Näherungsmethoden für wechselwirkende Quantenvielteilchensysteme, elementare Streutheorie.					
Lernergebnisse/Kompetenzziele					
Dieses Modul behandelt ausgewählte höhere Methoden der Quantenmechanik, wie sie für die moderne Physik grundlegend sind, insbesondere relativistische Quantenmechanik, Vielteilchentheorie, Symmetrien in der Quantenmechanik und Streutheorie. Damit werden die Studierenden befähigt, in ihren Abschlussarbeiten theoretische Probleme auf modernem Niveau anzugehen. Auf diese Weise werden insbesondere auch die Grundlagen für die Erweiterung der Quantenmechanik zur Quantenfeldtheorie gelegt.					
Teilnahmevoraussetzungen für Modul bzw. einzelne Veranstaltungen des Moduls					
keine					
Empfohlene Vorkenntnisse					
Inhalt der Veranstaltungen *Experimentalphysik 1–2*, *Theoretische Physik 1–5*					
Zuordnung (Studiengang/Fachbereich)	BSc Physik, MSc Physik / FB Physik				
Verwendbarkeit	BSc Physik, MSc Physik, BSc Biophysik, MSc Biophysik				
Zugehörigkeit zu Schwerpunkten	AKT AKO KMQ				
Häufigkeit des Angebots	jährlich				
Dauer	einsemestrig				
Modulbeauftragte / Modulbeauftragter	Rischke				
Studiennachweise / Prüfungsvorleistungen					
Teilnahmenachweise	regelmäßige Teilnahme an den Übungen				
Leistungsnachweise	erfolgreiche Bearbeitung von in der Regel wöchentlichen Übungsaufgaben				
Prüfungsvorleistungen	Erbringen aller Leistungsnachweise				
Lehr- / Lernformen	Vorlesung, Übung				
Unterrichts- / Prüfungssprache	Deutsch oder Englisch				
Modulprüfung					
Modulabschlussprüfung, benotet					
bestehend aus:	mündliche Prüfung (ca. 30 Min.) oder Klausur (90 Min.)				

Lehrveranstaltungen des Moduls	LV-Form	SWS	CP	Pf/WP	Semester					
					1	2	3	4	5	6
Höhere Quantenmechanik (Advanced Quantum Mechanics)	V+Ü	4+2	8	Pf						X
Summe		6	8							

VHEX	**Höhere Experimentalphysik** (Advanced Experimental Physics)	Wahlpflicht-modul	8 CP (insg.) = 240 h		6 SWS
			Kontaktstudium 6 SWS / 90 h	Selbststudium 150 h	

Inhalte

Höhere Experimentalphysik 1: Freie Elektronen und Ionen: Erzeugung freier Ladungsträger, Bewegung freier Ladungsträger in zeitabhängigen Feldern, Gasentladung, Plasmen, Plasmawellen
Festkörperphysik: Metalle, klassisches Elektronengas, Fermi-Gas, Energiebänder, Wärmeleitung, Supraleitung, HF-Supraleitung, nichtlineare Dynamik und Stabilität

Höhere Experimentalphysik 2: Theorie und Experimente zur Elektrodynamik: Energiedichte und Energieströmung, zeitabhängige und statische magnetische und elektrische Felder, Elektromagnetische Wellen, Wellenleiter und Resonatoren, Hochfrequenzdiagnose
Thermodynamik: Thermodynamische Systeme und Zustandsgrößen, Hauptsätze, kinetische Gastheorie, ideales Gas, Entropie und Gleichgewichtszustände, Aggregatzustände und Phasen

Lernergebnisse/Kompetenzziele

In diesem Modul sollen die Grundlagen der Elektrodynamik, Thermodynamik, Plasmaphysik und Festkörperphysik hauptsächlich durch Experimente veranschaulicht werden.
Ziel dieses Moduls ist es, den Studierenden einen Zugang zu den unterschiedlichen physikalischen Systemen schwerpunktmäßig durch experimentelle Veranschaulichung zu geben.
Durch das Vorführen und die Beteiligung an den Experimenten, die deutlich über dem Niveau der Grundvorlesungen liegen, sollen abstrakte Inhalte verständlicher und wichtige, elementare Zusammenhänge zwischen den unterschiedlichen Bereichen der Physik hergestellt werden. Dadurch versteht sich die Vorlesung als Bindeglied zwischen den Basisvorlesungen im Grundstudium und den Spezialvorlesungen im Masterstudiengang.

Teilnahmevoraussetzungen für Modul bzw. einzelne Veranstaltungen des Moduls

keine

Empfohlene Vorkenntnisse

Inhalt der Veranstaltungen des Bachelorstudiums

Zuordnung (Studiengang/Fachbereich)	BSc Physik, MSc Physik / FB Physik
Verwendbarkeit	BSc Physik, MSc Physik
Zugehörigkeit zu Schwerpunkten	BEP
Häufigkeit des Angebots	jährlich
Dauer	zweisemestrig
Modulbeauftragte / Modulbeauftragter	Podlech
Studiennachweise / Prüfungsvorleistungen	
Teilnahmenachweise	regelmäßige Teilnahme an den Übungen
Leistungsnachweise	erfolgreiche Bearbeitung von in der Regel wöchentlichen Übungsaufgaben
Prüfungsvorleistungen	Erbringen aller Leistungsnachweise
Lehr- / Lernformen	Vorlesungen, Übungen
Unterrichts- / Prüfungssprache	Deutsch

Modulprüfung										
Modulabschlussprüfung, benotet										
bestehend aus:	mündliche Prüfung (ca. 30 Min.) oder Klausur (90 Min.)									
Lehrveranstaltungen des Moduls	LV-Form	SWS	CP	Pf/WP	Semester					
					1	2	3	4	5	6
Höhere Experimentalphysik 1 (Advanced Experimental Physics 1)	V+Ü	2+1	4	Pf					X	
Höhere Experimentalphysik 2 (Advanced Experimental Physics 2)	V+Ü	2+1	4	Pf						X
Summe		6	8							

VNLQM	**Quantum Theory from a Nonlinear Perspective**	Wahlpflicht-modul	6 CP (insg.) = 180 h		4 SWS
			Kontaktstudium 4 SWS / 60 h	Selbststudium 120 h	

Inhalte

Is Quantum Theory Intrinsically Nonlinear?: Nichtlinearitäten in konventioneller Quantenmechanik; Welle-Teilchen Aspekte bei Wellenpaketlösungen der zeitabhängigen Schrödingergleichung; dynamische Invariante; Zusammenhänge mit zeitabhängiger Green Funktion, Wigner Funktion, Supersymmetrie, verallgemeinerten Erzeugungs-/Vernichtungsoperatoren und Kohärenten Zuständen; entsprechende Beziehungen bei zeitunabhängiger Quantenmechanik, Bose-Einstein-Kondensaten, Nichtlinearer Dynamik, statistischer Thermodynamik, Kosmologie u.s.w..

Nonlinearities and Dissipation in Classical and Quantum Physics: Konventionelle Methoden zur Beschreibung offener dissipativer Systeme, z.B. Langevin- und Fokker-Planck Gleichungen, verallgemeinerte Mastergleichung; alternative Wellenpaketansätze; nichtlineare Schrödingergleichungen, modifizierte Lagrange-/Hamilton-Formalismen, nichtunitäre Transformationen zwischen formalen und physikalischen Beschreibungsebenen.

Lernergebnisse/Kompetenzziele

Die Studierenden sollen nach Absolvieren des Moduls verstehen, dass die Ergebnisse der konventionellen Formulierung der zeitabhängigen Quantenmechanik nicht nur mittels zeitabhängiger Schrödingergleichung, sondern auch mittels einer komplexen nichtlinearen Riccati-Gleichung erhältlich sind. Dabei hat die nichtlineare Formulierung den Vorteil, dass sie nicht nur die Sensibilität bezüglich gewählter Anfangsbedingungen deutlich herausstellt, sondern auch die Verknüpfungen zwischen verschiedenen anderen Formulierungen von Quantendynamik klar aufzeigt. Es soll erkannt werden, dass die Ausnahmestellung der Riccati-Gleichung auf ihrer Linearisierbarkeit basiert, was letztlich erlaubt, Quantendynamik als komplexe klassische Mechanik zu formulieren. Das Verständnis dieser Zusammenhänge soll dann die Übertragung dieser Konzepte auf zeitunabhängige Quantensysteme, z.B. in deren supersymmetrischer Formulierung, aber auch auf völlig andere Bereiche der Physik, über statistische Thermodynamik, Soliton-Theorie bis hin zur Kosmologie ermöglichen. Schließlich soll offensichtlich werden, dass sich der nichtlineare Formalismus zwanglos auch auf offene Quantensysteme mit dissipativer, irreversibler Dynamik verallgemeinern lässt.

Teilnahmevoraussetzungen für Modul bzw. einzelne Veranstaltungen des Moduls

keine

Empfohlene Vorkenntnisse

Inhalt der Module *Theoretische Physik 1–4*

Zuordnung (Studiengang/Fachbereich)	BSc Physik, MSc Physik / FB Physik
Verwendbarkeit	BSc Physik, MSc Physik
Häufigkeit des Angebots	jährlich
Dauer	zweisemestrig
Modulbeauftragte / Modulbeauftragter	Rischke
Studiennachweise / Prüfungsvorleistungen	
Teilnahmenachweise	keine
Leistungsnachweise	Fachgespräch (ca. 30 Min.) zum Inhalt der Lehrveranstaltung *Nonlinearities and Dissipation in Classical and Quantum Physics*
Prüfungsvorleistungen	keine

Lehr- / Lernformen	Vorlesungen									
Unterrichts- / Prüfungssprache	Englisch oder Deutsch									
Modulprüfung										
Modulabschlussprüfung, benotet										
bestehend aus:	mündliche Prüfung (30 Min.) zum Inhalt der Lehrveranstaltung *Is Quantum Theory Intrinsically Nonlinear?*									
Lehrveranstaltungen des Moduls	LV-Form	SWS	CP	Pf/WP	Semester					
					1	2	3	4	5	6
Is Quantum Theory Intrinsically Nonlinear?	V	2	3	Pf					X	
Nonlinearities and Dissipation in Classical and Quantum Physics	V	2	3	Pf						X
Summe		4	6							

3.2 Astrophysik und Kosmologie

VART	**Allgemeine Relativitätstheorie** (General Relativity)	Wahlpflicht-modul	6 CP (insg.) = 180 h		5 SWS
			Kontaktstudium 5 SWS / 75 h	Selbststudium 105 h	
Inhalte					
Riemannsche Geometrie, Bewegungsgleichung, Ricci- und Einstein-Tensor, Einsteinsche Feldgleichung, experimentelle Tests, Schwarzschild-Lösung, schwarze Löcher, Gravitationswellen, Tolman-Oppenheimer-Volkov-Gleichung und Sternstruktur.					
Lernergebnisse/Kompetenzziele					
Das Modul soll die Grundlagen für das moderne Verständnis der Rolle der Gravitation in der Natur vermitteln. Dazu werden die notwendigen mathematischen Hilfsmittel bereitgestellt (Tensorrechung im gekrümmten Riemannschen Raum) und auf verschiedene Beispielprobleme angewandt. Die im Modul vermittelten Kenntnisse sollen den Teilnehmern den Zugang zu aktuellen Fragestellungen der Astrophysik ermöglichen und dienen auch als Grundlage für die Beschäftigung mit der Kosmologie.					
Teilnahmevoraussetzungen für Modul bzw. einzelne Veranstaltungen des Moduls					
keine					
Empfohlene Vorkenntnisse					
Inhalt der Veranstaltungen *Experimentalphysik 1–2*, *Theoretische Physik 1–2*					
Zuordnung (Studiengang/Fachbereich)	BSc Physik, MSc Physik / FB Physik				
Verwendbarkeit	BSc Physik, MSc Physik				
Zugehörigkeit zu Schwerpunkten	AKO				
Häufigkeit des Angebots	jährlich				
Dauer	einsemestrig				
Modulbeauftragte / Modulbeauftragter	Greiner				
Studiennachweise / Prüfungsvorleistungen					
Teilnahmenachweise	regelmäßige Teilnahme an den Übungen				
Leistungsnachweise	erfolgreiche Bearbeitung von in der Regel wöchentlichen Übungsaufgaben				
Prüfungsvorleistungen	Erbringen aller Leistungsnachweise				
Lehr- / Lernformen	Vorlesung, Übung				
Unterrichts- / Prüfungssprache	Deutsch				
Modulprüfung					
Modulabschlussprüfung, benotet					
bestehend aus:	mündliche Prüfung (ca. 30 Min.) oder Klausur (90 Min.)				

Lehrveranstaltungen des Moduls	LV-Form	SWS	CP	Pf/WP	Semester					
					1	2	3	4	5	6
Allgemeine Relativitätstheorie (General Relativity)	V+Ü	3+2	6	Pf					X	
Summe		5	6							

VAGR	**Advanced General Relativity**	Wahlpflicht-modul	6 CP (insg.) = 180 h		4 SWS
			Kontaktstudium 4 SWS / 60 h	Selbststudium 120 h	

Inhalte

The 3+1 decomposition of spacetime. Formulations of the Einstein equations. Lagrangian formulations. The ADM formulation. Conformal traceless formulations. Gauge conditions in 3+1 formulations. Constraint equations. initial data and constrained evolution. Hyperbolic systems of partial differential equations. Quasi-linear formulation. Conservative formulation. Characteristic equations for linear systems. Riemann invariants. Characteristics and caustics. Domain of determinacy. region of influence. Linear hydrodynamic waves. Sound waves. Nonlinear hydrodynamic waves. Rarefaction waves. Shock waves. Contact discontinuities. The Riemann problem. Solution of the one-dimensional Riemann problem. Formulations of the hydrodynamic equations. The Wilson formulation. The importance of conservative formulations. The "Valencia" formulation. Finite-Difference Methods. The discretisation process. Numerical errors. Consistency. convergence and stability. The upwind scheme. The FTCS scheme. The Lax-Friedrichs scheme. The leapfrog scheme. The Lax-Wendroff scheme Kreiss-Oliger dissipation. Artificial-viscosity approaches. HRSC Methods and Conservative schemes. Rankine-Hugoniot conditions. Finite-volume conservative numerical schemes. Finite-difference conservative numerical schemes. Upwind methods. Monotone methods. Total variation diminishing methods. Godunov methods. Reconstruction techniques. Slope-limiter methods Approximate Riemann solvers. HLLE. Roe Riemann solvers. The method of lines. Explicit Runge-Kutta methods. Implicit-explicit Runge-Kutta methods.

Lernergebnisse/Kompetenzziele

At the end of the course the students will have been exposed to many of the most active areas of research in general relativity and relativistic astrophysics. Furthermore, with the discussion of the mathematical and computational techniques employed in numerical relativity, the students will be able to carry out quantitative studies of relativistic compact objects. Overall, the material in the course will provide all the necessary background for a successful research work in relativistic astrophysics.

Teilnahmevoraussetzungen für Modul bzw. einzelne Veranstaltungen des Moduls

keine

Empfohlene Vorkenntnisse

Inhalt der Veranstaltung *Allgemeine Relativitätstheorie*, mindestens eine Programmiersprache

Zuordnung (Studiengang/Fachbereich)	BSc Physik, MSc Physik / FB Physik
Verwendbarkeit	BSc Physik, MSc Physik
Zugehörigkeit zu Schwerpunkten	AKO COM
Häufigkeit des Angebots	jährlich
Dauer	einsemestrig
Modulbeauftragte / Modulbeauftragter	Rezzolla
Studiennachweise / Prüfungsvorleistungen	
Teilnahmenachweise	regelmäßige Teilnahme an den Übungen
Leistungsnachweise	erfolgreiche Bearbeitung von in der Regel wöchentlichen Übungsaufgaben
Prüfungsvorleistungen	Erbringen aller Leistungsnachweise
Lehr- / Lernformen	Vorlesung, Übung
Unterrichts- / Prüfungssprache	Englisch

Modulprüfung										
Modulabschlussprüfung, benotet										
bestehend aus:	mündliche Prüfung (ca. 30 Min.) oder Klausur (90 Min.)									
Lehrveranstaltungen des Moduls	LV-Form	SWS	CP	Pf/WP	Semester					
					1	2	3	4	5	6
Advanced General Relativity	V+Ü	3+1	6	Pf						X
Summe		4	6							

VKOSMO	**Kosmologie** (Cosmology)	Wahlpflicht-modul	6 CP (insg.) = 180 h		4 SWS
			Kontaktstudium 4 SWS / 60 h	Selbststudium 120 h	

Inhalte

Beobachtungstatsachen, kosmologisches Prinzip, Rotverschiebung, Hubble-Expansion und Hintergrundstrahlung, Robertson-Walker-Metrik, Friedman-LeMaître-Gleichungen, kosmologische Konstante, Friedman-Lösungen, Big Bang, Nukleosynthese, inflationäres Universum, dunkle Energie und dunkle Materie

Lernergebnisse/Kompetenzziele

Ziel des Moduls ist die Vermittlung des aktuellen naturwissenschaftlichen Weltbilds zur Beschreibung von Aufbau und Dynamik des Universums. Auf der Basis der Allgemeinen Relativitätstheorie einerseits und der astronomischen Beobachtungen andererseits werden die Erkentnisse des kosmologischen Standardmodells vermittelt. Die Teilnehmer des Moduls werden in die Lage versetzt, den aktuellen Forschungsstand der Kosmologie zu verfolgen (z.B. Urknall, dunkle Materie, dunkle Energie).

Teilnahmevoraussetzungen für Modul bzw. einzelne Veranstaltungen des Moduls

keine

Empfohlene Vorkenntnisse

Inhalt der Veranstaltungen *Experimentalphysik 1–2*, *Theoretische Physik 1–5*

Zuordnung (Studiengang/Fachbereich)	BSc Physik, MSc Physik / FB Physik
Verwendbarkeit	BSc Physik, MSc Physik
Zugehörigkeit zu Schwerpunkten	AKO
Häufigkeit des Angebots	jährlich
Dauer	einsemestrig
Modulbeauftragte / Modulbeauftragter	Greiner
Studiennachweise / Prüfungsvorleistungen	
Teilnahmenachweise	regelmäßige Teilnahme an den Übungen
Leistungsnachweise	erfolgreiche Bearbeitung von in der Regel wöchentlichen Übungsaufgaben
Prüfungsvorleistungen	Erbringen aller Leistungsnachweise
Lehr- / Lernformen	Vorlesung, Übung
Unterrichts- / Prüfungssprache	Deutsch
Modulprüfung	
Modulabschlussprüfung, benotet	
bestehend aus:	mündliche Prüfung (ca. 30 Min.) oder Klausur (90 Min.)

Lehrveranstaltungen des Moduls	LV-Form	SWS	CP	Pf/WP	Semester					
					1	2	3	4	5	6
Kosmologie (Cosmology)	V+Ü	3+1	6	Pf						X
Summe		4	6							

VKTHASTB	**Spezielle Themen der theoretischen Astrophysik für BSc-Studierende**	Wahlpflicht-modul	5–11 CP (insg.) = 150–330 h		3–9 SWS
	(Special Topics in Theoretical Astrophysics for BSc Students)		Kontaktstudium 3–9 SWS / 45–135 h	Selbststudium 105–195 h	

Inhalte

abhängig von den gewählten Lehrveranstaltungen:

Theoretische Astrophysik: Theoretische Grundlagen der Physik, Strahlung, Hydrodynamik, Plasmaphysik, Magnetohydrodynamik, Stellare Dynamik

Astroteilchenphysik: Elemente des Standardmodells der Teilchenphysik, Grundlagen der Thermodynamik der Quantengase, die Zustandsgleichung der Materie bei extremen Dichten (Wigner-Seitz und Thomas-Fermi Modelle) Hydrostatisches Gleichgewicht in Newtonscher Theorie, Chandrasekhar-Masse für Weiße Zwerge, Kühlung der Weißen Zwerge, die Dichtefunktionaltheorie der Kernmaterie, Hypernukleare Materie, Struktur der Sterne in der ART, Oppenheimer-Volkoff-Gleichungen, Kühlung der Neutronensterne, Suprafluidität und Supraleitung in Neutronensternen, Kosmologische Modelle, Teilchenphysik des frühen Universums.

Struktur und Dynamik Extragalaktischer Systeme: Innere Struktur und Physik extragalaktischer Systeme (Galaxien, Galaxienhaufen, Intergalaktische Materie) sowie ihre räumliche Verteilung und Dynamik. Großräumige Struktur und Entwicklung des Kosmos. Relevante Beobachtungen und Modelle.

Struktur und Dynamik der Galaxis: Komponenten der Galaxis: Sterne, Sternhaufen, interstellare Materie, Magnetfelder, kosmische Strahlung, räumliche Verteilung, Kinematik und Dynamik, Interpretation von Beobachtungsdaten

Innere Struktur und Dynamik der Sterne: Grundprinzipien des Sternaufbaus, Zustandsgleichung, Energietransport, Energiequellen, Sterne auf der Hauptreihe, die Sonne, Nach-Hauptreihen-Entwicklung, Endstadien der Sternentwicklung, Pulsationen und Astroseismologie, Novae und Supernovae

Astrophysikalische Koordinatensysteme, Zeitrechnung, Kalenderrechnung: Astrophysikalische Koordinatensysteme und ihre Anwendung in der Astrophysik, Kalender und Zeitrechnung, Definition des Tages und des Jahres

Die Studierenden müssen mindestens zwei und können maximal drei Lehrveranstaltungen absolvieren. Dabei kann frei aus den verfügbaren Lehrveranstaltungen ausgewählt werden.

Lernergebnisse/Kompetenzziele

Dieses Modul bereitet die Studierenden auf eine Abschlussarbeit im Bereich Astronomie/Astrophysik vor. Nach Absolvieren des Moduls sind die Studierenden in dem von ihnen gewählten Vertiefungsbereich in der Lage, sich selbstständig in die aktuelle astrophysikalische Forschung einzuarbeiten bzw. direkt zu ihr beizutragen:

- Die Studierenden können aktuelle astrophysikalische Fachbegriffe verstehen.
- Die Studierenden besitzen die vertiefenden Grundlagen, die diversen astrophysikalische Systeme basierend auf verschiedenen theoretischen Ansätzen einzuordnen.
- Die Studierenden gewinnen ein umgreifendes Konzept für astronomische Größenordnungen.
- Die Studierenden können Verknüpfungen zwischen Mikro- und Makrokosmos erstellen.
- Die Studenten können aktuelle Fragestellungen der modernen Astrophysik wissenschaftlich untersuchen.

Teilnahmevoraussetzungen für Modul bzw. einzelne Veranstaltungen des Moduls	
keine	
Empfohlene Vorkenntnisse	
abhängig von den gewählten Lehrveranstaltungen: *Theoretische Astrophysik*: Grundkenntnisse in Astronomie und Inhalt der Veranstaltungen *Theoretische Physik 1–5* *Astroteilchenphysik*: Erforderliche Vorkenntnisse sind abgeschlossene Studien der Quantenmechanik und Statistische Physik *Struktur und Dynamik Extragalaktischer Systeme*: Inhalt der Module Astronomie I und II *Struktur und Dynamik der Galaxis*: Inhalt der Module Astronomie I und II *Innere Struktur und Dynamik der Sterne*: Inhalt der Module Astronomie I und II *Astrophysikalische Koordinatensysteme, Zeitrechnung, Kalenderrechnung*: Inhalt der Veranstaltung *Einführung in die Astrophysik*	
Zuordnung (Studiengang/Fachbereich)	BSc Physik / FB Physik
Verwendbarkeit	BSc Physik
Zugehörigkeit zu Schwerpunkten	AKO
Häufigkeit des Angebots	jährlich
Dauer	zweisemestrig
Modulbeauftragte / Modulbeauftragter	Schaffner-Bielich
Studiennachweise / Prüfungsvorleistungen	
Teilnahmenachweise	abhängig von den gewählten Lehrveranstaltungen: *Theoretische Astrophysik*: regelmäßige Teilnahme an den Übungen *Astroteilchenphysik*: keine *Struktur und Dynamik Extragalaktischer Systeme*: keine *Struktur und Dynamik der Galaxis*: keine *Innere Struktur und Dynamik der Sterne*: keine *Astrophysikalische Koordinatensysteme, Zeitrechnung, Kalenderrechnung*: keine
Leistungsnachweise	abhängig von den gewählten Lehrveranstaltungen: *Theoretische Astrophysik*: erfolgreiche Bearbeitung von in der Regel wöchentlichen Übungsaufgaben *Astroteilchenphysik*: Fachgespräch (ca. 30 Min.) oder Test *Struktur und Dynamik Extragalaktischer Systeme*: Fachgespräch (ca. 30 Min.) oder Vortrag *Struktur und Dynamik der Galaxis*: Fachgespräch (ca. 30 Min.) oder Vortrag *Innere Struktur und Dynamik der Sterne*: Fachgespräch (ca. 30 Min.) oder Vortrag

Prüfungsvorleistungen	*Astrophysikalische Koordinatensysteme, Zeitrechnung, Kalenderrechnung*: Fachgespräch (ca. 30 Min.) oder Test Erbringen aller Leistungsnachweise in der Lehrveranstaltung, zu der die lehrveranstaltungsbezogene Modulprüfung stattfinden soll
Lehr- / Lernformen	Vorlesungen, Übungen
Unterrichts- / Prüfungssprache	Deutsch
Modulprüfung	
Modulabschlussprüfung, benotet	Die Modulprüfung zu diesem Modul erfolgt lehrveranstaltungsbezogen: In einer Lehrveranstaltung des Moduls nach Wahl der oder des Studierenden werden sowohl die konkreten Inhalte der jeweiligen Lehrveranstaltung als auch die übergeordneten Lernziele des Moduls abgeprüft. Alle anderen von der oder dem Studierenden in diesem Modul absolvierten Lehrveranstaltungen werden mit den oben aufgeführten Leistungsnachweisen abgeschlossen.
bestehend aus:	mündliche Prüfung (ca. 30 Min.) oder Klausur (90 Min.)

Lehrveranstaltungen des Moduls	LV-Form	SWS	CP	Pf/WP	Semester					
					1	2	3	4	5	6
Theoretische Astrophysik (Theoretical Astrophysics)	V+Ü	2+1	4	WP						X
Astroteilchenphysik (Astro Particle Physics)	V	2	3	WP						X
Struktur und Dynamik Extragalaktischer Systeme (Structure and Dynamics of Extragalatic Systems)	V	2	3	WP				X	X	X
Struktur und Dynamik der Galaxis (Structure and Dynamics of the Galaxy)	V	2	3	WP				X	X	X
Innere Struktur und Dynamik der Sterne (Internal Structure and Dynamics of Stars)	V	2	3	WP				X	X	X
Astrophysikalische Koordinatensysteme, Zeitrechnung, Kalenderrechnung (Astrophysical coordinate systems, calculation of times, calendrical calculations) (Blockveranstaltung, 3 Tage V3 + 2 Tage Ü2)	V	1	2	WP			X		X	
Summe		3–9	5–11							

VKEXASTB	**Spezielle Themen der experimentellen Astrophysik für BSc-Studierende**	Wahlpflicht-modul	6–12 CP (insg.) = 180–360 h		4–10 SWS
	(Special Topics in Experimental Astrophysics for BSc Students)		Kontaktstudium 4–10 SWS / 60–150 h	Selbststudium 120–210 h	

Inhalte

abhängig von den gewählten Lehrveranstaltungen:

Thermodynamik im Alltag: Die Vorlesung beleuchtet eine Reihe von alltäglichen Phänomenen und Konstrukten unter thermodynamischen Gesichtspunkten, z.B.: Wärmebilanz von Lebewesen, Temperatur der Atmosphäre, Kältemaschinen, Verbrennungsmotoren, Wärmetauscher, Kochen, Sterne, Planeten

Stern- und Planetenentstehung: Physikalische Prozesse in sternbildenden Wolken, gravitative Instabilität, Strahlungstransport, Sternentstehung auf verschiedenen Skalen, Entstehung von interstellaren Wolken deren Entwicklung, Fragmentation und Kollaps, Vor-Hauptreihenentwicklung, Scheibenbildung, Planetenentstehung

Experimentelle Tests der Relativitätstheorie: Grundlagen der speziellen Relativitätstheorie, Experimente zur speziellen Relativitätstherorie, Grundlagen der allgemeinen Relativitätstheorie, Experimente zur allgemeinen Relativitätstherorie

Experimente zur nuklearen Astrophysik: Messung von Reaktionen mit geladenen Teilchen, Messung von photoneninduzierten Reaktionen, Messung von neutroneninduzierten Reaktionen

Physik und Chemie des Interstellaren Mediums: Dynamik des interstellaren Gases, hydrodynamische Instabilitäten, Turbulenz. Entstehung und Strahlung des interstellaren Gases, Staubs, PAHs (Polyzyklische Aromatische Kohlenwasserstoffe). Energiegleichgewicht des ISM, Phasen des ISM, chemische Phasenübergänge. Chemische Prozesse, Bildung und Zerstörung von Atomen und Molekülen im ISM, Wechselwirkung Physik und Chemie. Spezielle interstellare Regionen: HII Regionen, diffuse Galaktische Wolken, Molekülwolken, Photonendominierte Regionen, X-Ray Dominierte Regionen, interstellare Schocks und Supernova-Überreste, Planetare Nebel.
The dynamics of the interstellar gas, hydrodynamic instabilities, turbulence. Formation of and radiation from interstellar gas, dust and polycyclic aromatic hydrocarbons. The energy balance of the ISM, phases of the ISM and chemical phase transitions. Chemical processes, formation and destructions of atoms and molecules in the ISM, Interaction physics-chemistry. Special interstellar regions: HII regions, diffuse Galactic clouds, molecular clouds, photon-dominated regions and X-ray dominated regions, interstellar shocks and supernova remnants, planetary nebulae.

Datenanalyse in Physik und Astronomie: In der Vorlesung werden die Grundlagen der Datenanalyse sowie die Anwendung statistischer Methoden auf Daten aus der Astronomie und anderen Gebieten vorgestellt. Der Kurs behandelt folgende Themen: Deskriptive Statistik, Fehler und Unsicherheiten, Fehlerfortpflanzung, Wahrscheinlichkeit, Wahrscheinlichkeitsverteilungen, mathematische Statistik (induktive Statistik bzw. Inferenzstatistik), Datenglättung, Interpolationsverfahren, Regressionsanalyse, Multivariate Verfahren, Methode der kleinsten Quadrate, Korrelationsanalyse, Hypothesentests und Anpassungstests. Praktische Aspekte, wie Datenvisualisierung, Datenformate sowie die Arbeit mit realen Daten spielen eine wichtige Rolle. Bei ausreichend Zeit werden zusätzliche Themen wie Bildbearbeitung, astronomische Datenreduktion und andere vorgestellt.
Vorlesungsinhalte werden oft anhand realer, astronomischer Daten vorgestellt. Die Inhalte der Vorlesung sind aber auf alle wissenschaftlichen Gebiete anwendbar.

The lecture introduces the basic aspects of data analysis and the application of statistical methods to data in astronomy and other sciences.
The course covers the following topics: Descriptive statistics, uncertainties and errors, error propagation, probability distributions, statistical inference, data smoothing, interpolation, regression, multivariate analysis, least-squares fitting, correlation analysis, hypothesis testing, correlation and testing fits. We will also cover practical aspects, such as plotting and presenting data, data formats, and work with real data. If time allows additional topics like image processing, astronomical data reduction, and others will ne introduced.
The course will often use real astronomical data or applications from astronomy, but the contents of the course are of course applicable to all physical sciences.

Kernphysikalische Methoden in Forschung und Industrie:

- Einführung und Kernpysikalische Grundlagen: Grundbegriffe, Kernreaktionen, Radioaktiver Zerfall
- Industrielle Anwendungen in Materialentwicklung und Analyse: Historische Anwendungen, Materialforschung, Sterilisation und Mutations Anwendungen, Tiefbohrungsanalyse
- Kernenergie und erneuerbare Energien: Fusion und Spaltung, Reaktoren, Reaktorgefahren und Speicher, Fusionsreaktoren, Erneuerbare Energien;
- Medizinische Anwendungen in Diagnostik and Behandlung: Radiographie, Bildgebende Verfahren, Bestrahlungsmethoden und Techniken;
- Isotopenanalyse und Iso-scapes: Isotopenverteilung und Fraktionierungsprozesse, Iso-Scapes, Klimaanalyse mit 18O, Forensische und biologische Anwendungen
- Anwendung in Kunst und Archäologie: Radiologie, XRF und PIXE, Raman Spektroskopie, Radiokarbon Methode, Thermolumineszenz
- Der Bombenpeak: Ursprung des Bombenpeaks, Anwendungen des Bombenpeaks
- Gesellschaftliche Ängste: Zukunftshoffnungen mit und Zukunftsängste vor neuen Techniken

Astronomische Beobachtungstechniken: In der Vorlesung werden in einem ersten Schritt theoretische Hintergrundinformationen zu Beobachtungstechniken über den gesamten Wellenlängenbereich von Radio- bis Röntgenbeobachtungen vermittelt. Die jeweiligen Beobachtungstechniken, Teleskope, Instrumente und Detektoren werden im Detail beschrieben. Es wird eine Verbindung zu den wissenschaftlichen Arbeiten hergestellt, d.h. z.B., Sternentstehung, Novae, Sterne etc., die mit jedem der beschriebenen Instrumente durchgeführt werden. Praktische Erfahrungen mit der Planung und Durchführung von Beobachtungen werden angeboten.
Die Studierenden erwerben detaillierte theoretische Hintergrundinformationen über Beobachtungstechniken sowie praktische Erfahrung mit astronomischen Daten und Datenanalyse. Sie werden Beobachtungen so planen, als ob sie auf einen bestimmten wissenschaftlichen Fall abzielen würden, wobei sie ein Instrument ihrer Wahl verwenden.

Die Studierenden müssen mindestens zwei und können maximal drei Lehrveranstaltungen absolvieren. Dabei kann frei aus den verfügbaren Lehrveranstaltungen ausgewählt werden.

Lernergebnisse/Kompetenzziele

Ziel des Moduls ist es, experimentelle Methoden kennen zu lernen, die im großen Rahmen der Astrophysik angewandt werden. Den Studierenden werden die grundlegende Herangehensweise der beobachtungsorientierten Modellbildung und der daraus resultierenden Notwendigkeit für experimentelle Belege an Beispielen dargelegt. Mit dem Abschluss des Moduls sollen die Studierenden in der Lage sein, Experimente zu konzipieren sowie deren Signifikanz und systematische Unsicherheiten zu diskutieren.

Teilnahmevoraussetzungen für Modul bzw. einzelne Veranstaltungen des Moduls

keine

Empfohlene Vorkenntnisse

abhängig von den gewählten Lehrveranstaltungen:

Thermodynamik im Alltag: Inhalt der Veranstaltungen *Experimentalphysik 1: Mechanik, Thermodynamik*

Stern- und Planetenentstehung: Inhalt der Module Astronomie I und II

Experimentelle Tests der Relativitätstheorie: Inhalt der Veranstaltungen *Experimentalphysik 1*, *Theoretische Physik 1–2*

Experimente zur nuklearen Astrophysik: Inhalt der Veranstaltungen *Einführung in die Astronomie 1–2*, *Experimentalphysik 4a: Kerne und Elementarteilchen*

Physik und Chemie des Interstellaren Mediums: Inhalt der Module Astronomie I und II

Datenanalyse in Physik und Astronomie: Mathematik für Studierende der Physik, Einführung in die Programmierung für Studierende der Physik, Grundlagen der Astronomie

Die Übungen erfordern Zugang zu und sicheren Umgang mit Computern sowie Grundverständnis in einer Datenverarbeitungssoftware Ihrer Wahl (Origin, Excel, Matlab, Mathematica, R, ...) oder in einer Programmiersprache wie Python, Fortran, C, ...

Kernphysikalische Methoden in Forschung und Industrie: keine

Astronomische Beobachtungstechniken: Quantenmechanik und/oder Festkörperphysik, Kenntnisse in Linux, Python und Einführung in die Astronomie sind wünschenswert.

Zuordnung (Studiengang/Fachbereich)	BSc Physik / FB Physik
Verwendbarkeit	BSc Physik
Zugehörigkeit zu Schwerpunkten	AKO
Häufigkeit des Angebots	jährlich
Dauer	zweisemestrig
Modulbeauftragte / Modulbeauftragter	Reifarth

Studiennachweise / Prüfungsvorleistungen	
Teilnahmenachweise	abhängig von den gewählten Lehrveranstaltungen: *Thermodynamik im Alltag*: keine *Stern- und Planetenentstehung*: keine *Experimentelle Tests der Relativitätstheorie*: keine *Experimente zur nuklearen Astrophysik*: keine *Physik und Chemie des Interstellaren Mediums*: keine *Datenanalyse in Physik und Astronomie*: keine *Kernphysikalische Methoden in Forschung und Industrie*: regelmäßige Teilnahme an den Übungen *Astronomische Beobachtungstechniken*: regelmäßige Teilnahme an den Übungen
Leistungsnachweise	abhängig von den gewählten Lehrveranstaltungen: *Thermodynamik im Alltag*: Fachgespräch (ca. 30 Min.) oder Test *Stern- und Planetenentstehung*: Fachgespräch (ca. 30 Min.) oder Test *Experimentelle Tests der Relativitätstheorie*: Fachgespräch (ca. 30 Min.) oder Test *Experimente zur nuklearen Astrophysik*: Fachgespräch (ca. 30 Min.) oder Test *Physik und Chemie des Interstellaren Mediums*: Fachgespräch (ca. 30 Min.) oder Test *Datenanalyse in Physik und Astronomie*: Fachgespräch (ca. 30 Min.) oder Test *Kernphysikalische Methoden in Forschung und Industrie*: aktive Mitarbeit in den Übungen *Astronomische Beobachtungstechniken*: erfolgreiche Bearbeitung von in der Regel wöchentlichen Übungsaufgaben
Prüfungsvorleistungen	keine
Lehr- / Lernformen	Vorlesungen, Übung
Unterrichts- / Prüfungssprache	Deutsch oder Englisch
Modulprüfung	
Modulabschlussprüfung, benotet	
bestehend aus:	mündliche Prüfung (ca. 30 Min.) zu den Inhalten aller von dem oder der Studierenden besuchten Lehrveranstaltungen des Moduls

Lehrveranstaltungen des Moduls	LV-Form	SWS	CP	Pf/WP	Semester					
					1	2	3	4	5	6
Thermodynamik im Alltag (Thermodynamics in everday life)	V	2	3	WP		X		X		X
Stern- und Planetenentstehung (Star and Planet Formation)	V	2	3	WP				X		X
Experimentelle Tests der Relativitätstheorie (Experimental tests of special and general relativity)	V	2	3	WP				X		X
Experimente zur nuklearen Astrophysik (Experiments of nuclear astrophysics)	V	2	3	WP					X	
Physik und Chemie des Interstellaren Mediums (Physics and chemistry of the interstellar medium)	V	2	3	WP					X	
Datenanalyse in Physik und Astronomie (Data Analysis in Physics and Astronomy)	V	2	3	WP					X	X
Kernphysikalische Methoden in Forschung und Industrie (Nuclear physics methods in research and industry) (Blockveranstaltung, 8 Tage V4 + 2 Tage Ü4)	V+Ü	2+1	4	WP	X		X		X	
Astronomische Beobachtungstechniken (Astronomical Observational Techniques)	V+Ü	2+2	4	WP				X	X	X
Summe		4–10	6–12							

3.3 Kern- und Elementarteilchenphysik

VTHKP1	**Einführung in die Theoretische Kern- und Elementarteilchenphysik I** (Introduction to Theoretical Nuclear and Elementary Particle Physics I)	Wahlpflicht-modul	6 CP (insg.) = 180 h		5 SWS
			Kontaktstudium 5 SWS / 75 h	Selbststudium 105 h	

Inhalte

- Nuclear models: liquid drop model, Fermi-Gas Model, Shell Model, Deform Shell Model
- Collective Nuclear Models
- Nucleon-Nucleon Interaction
- Hartree-Fock Theory
- The Klein-Gordon equation
- Covariant electrodynamics
- The Dirac equation
- Quantum chromodynamics
- Symmetries of QCD

Lernergebnisse/Kompetenzziele

Nach Absolvieren des Moduls sind die Studierenden im Bereich der elementaren Kernphysik und relativistischen Quantenmechanik in der Lage, sich selbstständig in die aktuelle Forschung einzuarbeiten. Die Studierenden kennen alle wesentlichen Konzepte und Fachbegriffe und verstehen deren inhaltliche Zusammenhänge. Die Studierenden können forschungsnahe Problemstellungen thematisch einordnen und mit den vermittelten Methoden analysieren. Die Studierenden können weiterführende Informationen zu einer gegebenen Fragestellung in Fachliteratur und Internet recherchieren. Die Studierenden können aktuelle wissenschaftliche Publikationen verstehen und wiedergeben. Die Studierenden besitzen das theoretische Rüstzeug, um eine gegebene wissenschaftliche Fragestellung selbst quantitativ zu untersuchen und zu beantworten.

Teilnahmevoraussetzungen für Modul bzw. einzelne Veranstaltungen des Moduls

keine

Empfohlene Vorkenntnisse

Inhalt der Veranstaltungen *Experimentalphysik 1–4*, *Theoretische Physik 1–4*

Zuordnung (Studiengang/Fachbereich)	BSc Physik, MSc Physik / FB Physik
Verwendbarkeit	BSc Physik, MSc Physik
Zugehörigkeit zu Schwerpunkten	AKT
Häufigkeit des Angebots	jährlich
Dauer	einsemestrig
Modulbeauftragte / Modulbeauftragter	Bleicher

Studiennachweise / Prüfungsvorleistungen	
Teilnahmenachweise	regelmäßige Teilnahme an den Übungen
Leistungsnachweise	erfolgreiche Bearbeitung von in der Regel wöchentlichen Übungsaufgaben
Prüfungsvorleistungen	Erbringen aller Leistungsnachweise
Lehr- / Lernformen	Vorlesung, Übung
Unterrichts- / Prüfungssprache	Deutsch oder Englisch
Modulprüfung	
Modulabschlussprüfung, benotet	
bestehend aus:	mündliche Prüfung (ca. 30 Min.) oder Klausur (90 Min.)

Lehrveranstaltungen des Moduls	LV-Form	SWS	CP	Pf/WP	Semester					
					1	2	3	4	5	6
Einführung in die Theoretische Kern- und Elementarteilchenphysik I (Introduction to Theoretical Nuclear and Elementary Particle Physics I)	V+Ü	3+2	6	Pf					X	
Summe		5	6							

VTHKP2	**Einführung in die Theoretische Kern- und Elementarteilchenphysik II**	Wahlpflicht-modul	6 CP (insg.) = 180 h		5 SWS
	(Introduction to Theoretical Nuclear and Elementary Particle Physics II)		Kontaktstudium 5 SWS / 75 h	Selbststudium 105 h	

Inhalte

- Introduction to Quantum Chromodynamics (QCD): The constituent quark model, basic hadrons in the quark model; Non-abelian gauge field theory – QCD; SU(N) symmetry; Approximate symmetries of QCD – chiral symmetry; Feynman diagrams
- Effective Models: Thermodynamic models; String model; Non-equilibrium models and transport approaches to strongly interacting systems
- Heavy Ion Interactions: relativistic heavy-ion collisions at GSI, FAIR, CERN, LHC; Quark-Gluon-Plasma (QGP), Observables for the QGP

Lernergebnisse/Kompetenzziele

Nach Absolvieren des Moduls sind die Studierenden im Bereich der modernen Schwerionen- und Teilchenphysik in der Lage, sich selbstständig in die aktuelle Forschung einzuarbeiten. Die Studierenden kennen alle wesentlichen Konzepte und Fachbegriffe und verstehen deren inhaltliche Zusammenhänge. Die Studierenden können forschungsnahe Problemstellungen thematisch einordnen und mit den vermittelten Methoden analysieren. Die Studierenden können weiterführende Informationen zu einer gegebenen Fragestellung in Fachliteratur und Internet recherchieren. Die Studierenden können aktuelle wissenschaftliche Publikationen verstehen und wiedergeben. Die Studierenden besitzen das theoretische Rüstzeug, um eine gegebene wissenschaftliche Fragestellung selbst quantitativ zu untersuchen und zu beantworten.

Teilnahmevoraussetzungen für Modul bzw. einzelne Veranstaltungen des Moduls

keine

Empfohlene Vorkenntnisse

Inhalt der Veranstaltungen *Experimentalphysik 1–4*, *Theoretische Physik 1–5*, *Einführung in die Theoretische Kern- und Elementarteilchenphysik I*

Zuordnung (Studiengang/Fachbereich)	BSc Physik, MSc Physik / FB Physik
Verwendbarkeit	BSc Physik, MSc Physik
Zugehörigkeit zu Schwerpunkten	AKT
Häufigkeit des Angebots	jährlich
Dauer	einsemestrig
Modulbeauftragte / Modulbeauftragter	Bleicher
Studiennachweise / Prüfungsvorleistungen	
Teilnahmenachweise	regelmäßige Teilnahme an den Übungen
Leistungsnachweise	erfolgreiche Bearbeitung von in der Regel wöchentlichen Übungsaufgaben
Prüfungsvorleistungen	Erbringen aller Leistungsnachweise
Lehr- / Lernformen	Vorlesung, Übung

Unterrichts- / Prüfungssprache	Deutsch oder Englisch									
Modulprüfung **Modulabschlussprüfung, benotet** **bestehend aus:**	mündliche Prüfung (ca. 30 Min.) oder Klausur (90 Min.)									
Lehrveranstaltungen des Moduls	LV-Form	SWS	CP	Pf/WP	Semester					
					1	2	3	4	5	6
Einführung in die Theoretische Kern- und Elementarteilchenphysik II (Introduction to Theoretical Nuclear and Elementary Particle Physics II)	V+Ü	3+2	6	Pf						X
Summe		5	6							

VQFT1	**Einführung in die Quantenfeldtheorie und das Standardmodell der Teilchenphysik**	Wahlpflicht-modul	8 CP (insg.) = 240 h		6 SWS
	(Introduction to Quantum Field Theory and Standard Model of Particle Physics)		Kontaktstudium 6 SWS / 90 h	Selbststudium 150 h	

Inhalte

Relativistische Wellengleichungen, klassische Feldtheorie im Lagrangeformalismus, Symmetrien und Noethersches Theorem; Einführung Quantenfeldtheorie: kanonische Quantisierung für Skalar-, Spinor- und Vektorfelder, Störungstheorie, Feynman-Diagramme; Abelsche und nichtabelsche Eichfelder, Quantenelektrodynamik und Quantenchromodynamik, Berechnung einfacher Prozesse, die schwache Wechselwirkung, vereinigte Beschreibung der Wechselwirkungen im Standardmodell.

Lernergebnisse/Kompetenzziele

Das Modul befähigt Studierende zur Behandlung von relativistischen Quantensystemen mit unendlich vielen Freiheitsgraden. Sie können den allgemeinen Formalismus auf die fundamentalen Wechselwirkungen des Standardmodells der Teilchenphysik anwenden und sind in der Lage, Streuquerschnitte für alle elementaren Prozesse in führender Näherung zu berechnen. Nach Abschluss des Moduls können Studierende Bachelor- oder Masterarbeiten in der theoretischen Teilchenphysik bearbeiten.

Teilnahmevoraussetzungen für Modul bzw. einzelne Veranstaltungen des Moduls

keine

Empfohlene Vorkenntnisse

Analytische Mechanik mit Lagrange- und Hamiltonformalismus, Feldtheorie und Wellengleichungen der klassischen Elektrodynamik, kanonische Quantisierung, Schrödingergleichung, quantenmechanische Störungstheorie (i.e. Theoretische Physik 1-4)

Zuordnung (Studiengang/Fachbereich)	BSc Physik, MSc Physik / FB Physik
Verwendbarkeit	BSc Physik, MSc Physik
Zugehörigkeit zu Schwerpunkten	AKT
Häufigkeit des Angebots	jährlich
Dauer	einsemestrig
Modulbeauftragte / Modulbeauftragter	Philipsen
Studiennachweise / Prüfungsvorleistungen	
Teilnahmenachweise	regelmäßige Teilnahme an den Übungen
Leistungsnachweise	erfolgreiche Bearbeitung von in der Regel wöchentlichen Übungsaufgaben
Prüfungsvorleistungen	Erbringen aller Leistungsnachweise
Lehr- / Lernformen	Vorlesung, Übung
Unterrichts- / Prüfungssprache	Deutsch oder Englisch
Modulprüfung	
Modulabschlussprüfung, benotet	
bestehend aus:	mündliche Prüfung (ca. 30 Min.) oder Klausur (90 Min.)

Lehrveranstaltungen des Moduls	LV-Form	SWS	CP	Pf/WP	Semester					
					1	2	3	4	5	6
Einführung in die Quantenfeldtheorie und das Standardmodell der Teilchenphysik (Introduction to Quantum Field Theory and Standard Model of Particle Physics)	V+Ü	4+2	8	Pf					X	
Summe		6	8							

VQFT2	**Fortgeschrittene Quantenfeldtheorie und Quantenchromodynamik**	Wahlpflicht-modul	8 CP (insg.) = 240 h		6 SWS
	(Advanced Quantum Field Theory and Quantum Chromodynamics)		Kontaktstudium 6 SWS / 90 h	Selbststudium 150 h	

Inhalte	
Feldquantisierung im Pfadintegralformalismus, Feynmanregeln der QCD und perturbative Auswertung, Renormierung und Renormierungsgruppe, asymptotische Freiheit und nichtperturbative Physik, Einführung in die Gittereichtheorie	
Lernergebnisse/Kompetenzziele	
Einführung sehr allgemeiner theoretischer Konzepte (Pfadintegrale, Renormierungstheorie) und ihre Anwendung auf konkrete, beobachtbare Systeme. Erkennen der Analogien zwischen statistischen und quantenfeldtheoretischen Systemen. Erlernen nichtperturbativer Techniken zur Evaluation von Feldtheorien.	
Teilnahmevoraussetzungen für Modul bzw. einzelne Veranstaltungen des Moduls	
keine	
Empfohlene Vorkenntnisse	
Siehe VQFT1 sowie Grundlagen der statistischen Physik (Zustandssummen, Boltzmanngewichte, Spinmodelle), skalare Feldtheorien, abelsche Feldtheorien	
Zuordnung (Studiengang/Fachbereich)	BSc Physik, MSc Physik / FB Physik
Verwendbarkeit	BSc Physik, MSc Physik
Zugehörigkeit zu Schwerpunkten	AKT
Häufigkeit des Angebots	jährlich
Dauer	einsemestrig
Modulbeauftragte / Modulbeauftragter	Philipsen
Studiennachweise / Prüfungsvorleistungen	
Teilnahmenachweise	regelmäßige Teilnahme an den Übungen
Leistungsnachweise	erfolgreiche Bearbeitung von in der Regel wöchentlichen Übungsaufgaben
Prüfungsvorleistungen	Erbringen aller Leistungsnachweise
Lehr- / Lernformen	Vorlesung, Übung
Unterrichts- / Prüfungssprache	Deutsch oder Englisch
Modulprüfung	
Modulabschlussprüfung, benotet	
bestehend aus:	mündliche Prüfung (ca. 30 Min.) oder Klausur (90 Min.)

Lehrveranstaltungen des Moduls	LV-Form	SWS	CP	Pf/WP	Semester					
					1	2	3	4	5	6
Fortgeschrittene Quantenfeldtheorie und Quantenchromodynamik (Advanced Quantum Field Theory and Quantum Chromodynamics)	V+Ü	4+2	8	Pf						X
Summe		6	8							

VKT1	**Quarkstruktur der Materie** (Quark Structure of Matter)	Wahlpflicht-modul	6 CP (insg.) = 180 h		4 SWS
			Kontaktstudium 4 SWS / 60 h	Selbststudium 120 h	

Inhalte

Elastische und inelastische Elektron- und Neutrinostreuung, Formfaktoren des Protons, Strukturfunktionen, Partonstruktur, Phänomenologie der Quantenchormodynamik, Farben, Gluonen, laufende Kopplung, Quarkonia, Baryonen und leichte Mesonen

Lernergebnisse/Kompetenzziele

Das Modul vermittelt Kenntnisse über die elementare Struktur der Materie auf der Ebene von Quarks und Gluonen und gibt einen Einblick in die Phänomenologie der elementaren starken Wechselwirkung. Ziel der Vorlesung ist insbesondere die Vermittlung des Konzeptes des Streuexperimentes. Es soll herausgearbeitet werden, wie aus den ermittelten Streudaten die jeweilige Information zur Struktur der Materie gezogen werden kann.

Teilnahmevoraussetzungen für Modul bzw. einzelne Veranstaltungen des Moduls

keine

Empfohlene Vorkenntnisse

Inhalt der Veranstaltungen *Experimentalphysik 1–3*, *Theoretische Physik 1–3*, *Anfängerpraktikum 1–2*

Zuordnung (Studiengang/Fachbereich)	BSc Physik, MSc Physik / FB Physik
Verwendbarkeit	BSc Physik, MSc Physik
Zugehörigkeit zu Schwerpunkten	AKT
Häufigkeit des Angebots	jährlich
Dauer	einsemestrig
Modulbeauftragte / Modulbeauftragter	Appelshäuser
Studiennachweise / Prüfungsvorleistungen	
Teilnahmenachweise	regelmäßige Teilnahme an den Übungen
Leistungsnachweise	erfolgreiche Bearbeitung von in der Regel wöchentlichen Übungsaufgaben
Prüfungsvorleistungen	Erbringen aller Leistungsnachweise
Lehr- / Lernformen	Vorlesung, Übung
Unterrichts- / Prüfungssprache	Deutsch oder Englisch
Modulprüfung	
Modulabschlussprüfung, benotet	
bestehend aus:	mündliche Prüfung (ca. 30 Min.) oder Klausur (90 Min.)

Lehrveranstaltungen des Moduls	LV-Form	SWS	CP	Pf/WP	Semester 1	2	3	4	5	6
Die Quarkstruktur der Materie (Quark Structure of Matter)	V+Ü	3+1	6	Pf					X	
Summe		4	6							

VKT2	**Schwache Wechselwirkung und fundamentale Symmetrien**	Wahlpflicht-modul	6 CP (insg.) = 180 h		4 SWS
	(Weak Interaction and Fundamental Symmetries)		Kontaktstudium 4 SWS / 60 h	Selbststudium 120 h	

Inhalte	
Schwache Wechselwirkung: Leptonen, Quarkmischungen, Neutrinooszillationen, Paritätsverletzung, Vektor-Axialvektor Kopplung, Neutrale Kaonen, CP-Verletzung, elektroschwache Vereinheitlichung.	
Lernergebnisse/Kompetenzziele	
Die Vorlesung behandelt die Eigenschaften der schwachen Wechselwirkung, anhand derer die wichtigsten Merkmale des Standardmodells und seine freien Parameter diskutiert werden. Wichtige Konzepte der modernen Teilchenphysik wie Mischung und Oszillation werden behandelt. Die Vorlesung endet mit einem Ausblick auf die aktuellen offenen Fragen des Feldes wie der elektroschwachen Symmetriebrechung und Physik jenseits des Standardmodells. Die ausführliche Diskussion von Schlüsselexperimenten soll die Fähigkeit schärfen, eine Verknüpfung zwischen experimenteller Beobachtung und physikalischem Sachverhalt herzustellen.	
Teilnahmevoraussetzungen für Modul bzw. einzelne Veranstaltungen des Moduls	
keine	
Empfohlene Vorkenntnisse	
Inhalt der Veranstaltungen *Experimentalphysik 1–3*, *Theoretische Physik 1–3*, *Anfängerpraktikum 1–2*	
Zuordnung (Studiengang/Fachbereich)	BSc Physik, MSc Physik / FB Physik
Verwendbarkeit	BSc Physik, MSc Physik
Zugehörigkeit zu Schwerpunkten	AKT
Häufigkeit des Angebots	jährlich
Dauer	einsemestrig
Modulbeauftragte / Modulbeauftragter	Appelshäuser
Studiennachweise / Prüfungsvorleistungen	
Teilnahmenachweise	regelmäßige Teilnahme an den Übungen
Leistungsnachweise	erfolgreiche Bearbeitung von in der Regel wöchentlichen Übungsaufgaben
Prüfungsvorleistungen	Erbringen aller Leistungsnachweise
Lehr- / Lernformen	Vorlesung, Übung
Unterrichts- / Prüfungssprache	Deutsch oder Englisch
Modulprüfung	
Modulabschlussprüfung, benotet	
bestehend aus:	mündliche Prüfung (ca. 30 Min.) oder Klausur (90 Min.)

Lehrveranstaltungen des Moduls	LV-Form	SWS	CP	Pf/WP	Semester					
					1	2	3	4	5	6
Schwache Wechselwirkung und fundamentale Symmetrien (Weak Interaction and Fundamental Symmetries)	V+Ü	3+1	6	Pf						X
Summe		4	6							

VKT3	**Starke Kernkraft und Kernmodelle** (Strong Interaction and Nuclear Models)	Wahlpflicht-modul	6 CP (insg.) = 180 h		4 SWS
			Kontaktstudium 4 SWS / 60 h	Selbststudium 120 h	

Inhalte

Starke Kernkraft, Deuteron, Streuexperimente, Streulänge, Fermigasmodell und Schalenmodell, Transferreaktionen, Elektromagnetische Kernübergänge, Kollektive Kernanregungen

Lernergebnisse/Kompetenzziele

Dieses weiterführende Modul richtet sich an Studierende, die sich auf eine Abschlussarbeit im Bereich Kern- und Teilchenphysik vorbereiten. In ihm werden vorhandene Kenntnisse der Kernphysik vertieft und mit aktuellen Forschungsthemen verknüpft. Die Studierenden werden in die Lage versetzt,

- forschungsnahe Problemstellungen thematisch einzuordnen und mit den vermittelten Methoden zu bearbeiten;
- die Grenzen der Gültigkeit verschiedener kernphysikalischer Konzepte zu erkennen und geeignete Ansätze zu benennen;
- Aufbau und Konzept aktueller kernphysikalischer Experimente zu beurteilen und zu deren Optimierung beizutragen;
- Themen der aktuellen kernphysikalischen Forschung eigenständig in der Fachliteratur zu recherchieren und wiederzugeben.

Teilnahmevoraussetzungen für Modul bzw. einzelne Veranstaltungen des Moduls

keine

Empfohlene Vorkenntnisse

Inhalt der Veranstaltungen *Experimentalphysik 1–4*, *Theoretische Physik 1–4*

Zuordnung (Studiengang/Fachbereich)	BSc Physik, MSc Physik / FB Physik
Verwendbarkeit	BSc Physik, MSc Physik
Zugehörigkeit zu Schwerpunkten	AKT
Häufigkeit des Angebots	jährlich
Dauer	einsemestrig
Modulbeauftragte / Modulbeauftragter	Appelshäuser
Studiennachweise / Prüfungsvorleistungen	
Teilnahmenachweise	regelmäßige Teilnahme an den Übungen
Leistungsnachweise	erfolgreiche Bearbeitung von in der Regel wöchentlichen Übungsaufgaben
Prüfungsvorleistungen	Erbringen aller Leistungsnachweise
Lehr- / Lernformen	Vorlesung, Übung
Unterrichts- / Prüfungssprache	Deutsch

Modulprüfung										
Modulabschlussprüfung, benotet										
bestehend aus:	mündliche Prüfung (ca. 30 Min.) oder Klausur (90 Min.)									
Lehrveranstaltungen des Moduls	LV-Form	SWS	CP	Pf/WP	Semester					
					1	2	3	4	5	6
Starke Kernkraft und Kernmodelle (Strong Interaction and Nuclear Models)	V+Ü	3+1	6	Pf					X	
Summe		4	6							

VDP	**Physik der Teilchendetektoren** (Physics of Particle Detectors)	Wahlpflicht-modul	6 CP (insg.) = 180 h		4 SWS
			Kontaktstudium 4 SWS / 60 h	Selbststudium 180 h	

Inhalte

Das Modul dient der fachlichen Spezialisierung auf dem Gebiet der experimentellen Kern- und Teilchenphysik. Die Vorlesung dient als Ergänzung zu den Modulen VEX4A und VKT1–4 und ist eine Vorbereitung auf das Fortgeschrittenenpraktikum und eine BA/MA-Arbeit in diesem Spezialgebiet. Es werden die physikalischen Grundlagen zum Nachweis von Teilchenstrahlung vermittelt. Neben der Diskussion der Wechselwirkungen von Strahlung mit Materie werden die wichtigsten Detektortypen und ihre Anwendungen in aktuellen und geplanten Experimenten der Kern- und Teilchenphysik vorgestellt. Erworbenes Wissen kann auf andere Bereiche der experimentellen Physik angewendet werden.

Lernergebnisse/Kompetenzziele

Aufgrund seiner inhaltlichen Verbindung der Gründe und Techniken für den Teilchennachweis, den Grundlagen der elementaren Wechselwirkung von Teilchen mit Materie und Engineering-Aspekten sind die Studierenden auf die Konzeption und den Umgang mit modernen Teilchendetektoren vorbereitet. Die Studierenden kennen die wesentlichen Techniken des Teilchennachweises. Den Studierenden sind die grundlegenden Konzepte und technologischen Randbedingungen geläufig. Die Studierenden kennen komplexe moderne Detektorarrangements.

Teilnahmevoraussetzungen für Modul bzw. einzelne Veranstaltungen des Moduls

keine

Empfohlene Vorkenntnisse

Inhalt der Veranstaltungen *Experimentalphysik 1–3*

Zuordnung (Studiengang/Fachbereich)	BSc Physik, MSc Physik / FB Physik
Verwendbarkeit	BSc Physik, MSc Physik
Zugehörigkeit zu Schwerpunkten	AKT
Häufigkeit des Angebots	jährlich
Dauer	einsemestrig
Modulbeauftragte / Modulbeauftragter	Stroth
Studiennachweise / Prüfungsvorleistungen	
Teilnahmenachweise	regelmäßige Teilnahme an den Übungen
Leistungsnachweise	erfolgreiche Bearbeitung von in der Regel wöchentlichen Übungsaufgaben
Prüfungsvorleistungen	Erbringen aller Leistungsnachweise
Lehr- / Lernformen	Vorlesung, Übung
Unterrichts- / Prüfungssprache	Deutsch
Modulprüfung	
Modulabschlussprüfung, benotet	
bestehend aus:	mündliche Prüfung (ca. 30 Min.) oder Klausur (90 Min.)

Lehrveranstaltungen des Moduls	LV-Form	SWS	CP	Pf/WP	Semester					
					1	2	3	4	5	6
Physik der Teilchendetektoren (Physics of Particle Detectors)	V+Ü	3+1	6	Pf				X		X
Summe		4	6							

VANAHEP	**Analysemethoden der Experimentellen Hochenergiephysik** (Analysis Methods in Experimental High-Energy Physics)	Wahlpflicht-modul	5 CP (insg.) = 150 h		3 SWS
			Kontaktstudium 3 SWS / 45 h	Selbststudium 105 h	

Inhalte

Concepts of Data Analysis in High-Energy Physics, Modular Programming, Control Stuctures, Basic Variables, Functions, Objects, Encapsulation, Histograms, Trees and NTuples, Monte-Carlo Techniques and Random Number Generators, Analysis of Experimental Data (Exemplary Data Analysis, Acceptance & Efficiency Corrections)

Lernergebnisse/Kompetenzziele

Einführung in die Datenanalyse von Hochenergieexperimenten mit C++ und ROOT. Neben einer Einführung in die Grundlagen der Programmierung werden grundlegende Techniken in der Datenanalyse exemplarisch erarbeitet.

Teilnahmevoraussetzungen für Modul bzw. einzelne Veranstaltungen des Moduls

keine

Empfohlene Vorkenntnisse

Inhalt der Veranstaltungen *Experimentalphysik 1–3*, *Theoretische Physik 1–3*

Zuordnung (Studiengang/Fachbereich)	BSc Physik, MSc Physik / FB Physik
Verwendbarkeit	BSc Physik, MSc Physik
Zugehörigkeit zu Schwerpunkten	AKT
Häufigkeit des Angebots	jährlich
Dauer	einsemestrig
Modulbeauftragte / Modulbeauftragter	Stroth
Studiennachweise / Prüfungsvorleistungen	
Teilnahmenachweise	keine
Leistungsnachweise	keine
Prüfungsvorleistungen	keine
Lehr- / Lernformen	Vorlesung
Unterrichts- / Prüfungssprache	Deutsch
Modulprüfung	
Modulabschlussprüfung, benotet	
bestehend aus:	mündliche Prüfung (ca. 30 Min.) oder Klausur (90 Min.)

Lehrveranstaltungen des Moduls	LV-Form	SWS	CP	Pf/WP	Semester					
					1	2	3	4	5	6
Analysemethoden der Experimentellen Hochenergiephysik (Analysis Methods in Experimental High-Energy Physics)	V	3	5	Pf				X		X
Summe		3	5							

VANAHEP2	**Fortgeschrittene Analysemethoden der Experimentellen Hochenergiephysik**	Wahlpflicht-modul	5 CP (insg.) = 150 h		3 SWS
	(Advanced Analysis Methods in Experimental High-Energy Physics)		Kontaktstudium 3 SWS / 45 h	Selbststudium 105 h	

Inhalte

- Signal- und Systemtheorie: Analyse von Systemen, Fourier- und Laplace-Transformation, Signalformung, Abtasttheorem, Digitalisierung, Rauschen, DFT, FFT
- Moderne Multi-Level Triggersysteme, Bestimmung von Triggereffizienzen durch Monte-Carlo Simulationen, Moderne Datennahmesysteme
- Methoden und Algorithmen zur Rekonstruktion von Kollisionspunkt und Teilchenspuren (Vertexing und Tracking)
- Clusterfindungsalgorithmen und Jetrekonstruktion (Jet-Finding algorithms)
- Spezielle Statistische Methoden: Bestimmung von Signifikanz-Intervallen und oberen Schranken, p-Value, Likelihood, Bayesian Analysis, Unfolding
- Multivariative Analysemethoden (MVAM) und Machine Learning
- Debugging-Werkzeuge und Skriptsprachen
- ROOT und Interfaces zu speziellen Softwarepaketen

Lernergebnisse/Kompetenzziele

Die Studierenden beherrschen im Detail verschiedene Analysemethoden, die in der aktuellen Forschung im Bereich der experimentellen Hochenergiephysik angewandt werden und in der Basislehrveranstaltung *Analysemethoden der Experimentellen Hochenergiephysik* nur kurz andiskutiert werden können.

Teilnahmevoraussetzungen für Modul bzw. einzelne Veranstaltungen des Moduls

keine

Empfohlene Vorkenntnisse

Inhalt der Veranstaltungen *Experimentalphysik 1–3*, *Theoretische Physik 1–3*, *Analysemethoden der Experimentellen Hochenergiephysik*

Zuordnung (Studiengang/Fachbereich)	BSc Physik, MSc Physik / FB Physik
Verwendbarkeit	BSc Physik, MSc Physik
Zugehörigkeit zu Schwerpunkten	AKT
Häufigkeit des Angebots	jährlich
Dauer	einsemestrig
Modulbeauftragte / Modulbeauftragter	Büsching
Studiennachweise / Prüfungsvorleistungen	
Teilnahmenachweise	keine
Leistungsnachweise	keine
Prüfungsvorleistungen	keine

Lehr- / Lernformen	Vorlesung									
Unterrichts- / Prüfungssprache	Deutsch									
Modulprüfung										
Modulabschlussprüfung, benotet										
bestehend aus:	mündliche Prüfung (ca. 30 Min.) oder Klausur (90 Min.)									
Lehrveranstaltungen des Moduls	LV-Form	SWS	CP	Pf/WP	Semester					
					1	2	3	4	5	6
Fortgeschrittene Analysemethoden der Experimentellen Hochenergiephysik (Advanced Analysis Methods in Experimental High-Energy Physics)	V	3	5	Pf					X	
Summe		3	5							

VKHEPB	**Spezielle Themen der Kern- und Elementarteilchenphysik für BSc-Studierende**	Wahlpflicht-modul	6–12 CP (insg.) = 180–360 h		4–9 SWS
	(Special Topics in Nuclear and Elementary Particle Physics for BSc Students)		Kontaktstudium 4–9 SWS / 60–135 h	Selbststudium 120–225 h	

Inhalte

abhängig von den gewählten Lehrveranstaltungen:

Transporttheorie: Verteilungsfunktionen, Boltzmannsche kinetische Gleichung, Relaxationszeitnäherung, Transportkoeffizienten, kinetische Prozesse in externen Felder, Virial-Entwicklung, kinetische Theorie der Plasmen, Landau Dämpfung, Lorentz-Plasma, kinetische Koeffizienten in starken Magnetfeldern, elektromagnetische Wellen, Fermi-Flüssigkeiten, thermische Leitfähigkeit und Viskosität der Fermi-Flüssigkeiten, Schalldämpfung in Fermi-Flüssigkeiten, kinetische Gleichung für Bose Teilchen, Nichtgleichgewichts-Greensfunktionen, Fluktuations-Dissipations Theorem, statistischer Operator im Nichtgleichgewicht, Variationsrechnungen für Transportkoeffizienten, Anwendungen der Kubo Formel.

Thermische Quantenfeldtheorie: Pfadintegral und thermische Zustandssumme, „imaginary-time“ Formalismus, Störungstheorie, Feynmandiagramme und Temperatur, Skalar-, Dirac- und Eichfelder bei endlichen Temperaturen, Anwendungen im Standardmodell (QED, QCD), Phasenübergänge.
Optional: endliche Dichte, magnetische Hintergrundfelder, effektive Theorien; „real-time“ Formalismus, Resummation und Grenzen der Störungstheorie, Linear Response.

Erweiterter Hamilton-Lagrange Formalismus in Punktmechanik und Feldtheorie:
Teil 1: gewöhnlicher Hamilton-Lagrange-Formalismus (Zeit als Parameter), kanonische Transformationen, nicht-relativistisches Pfadintegral
Teil 2: Erweiterter Hamilton-Lagrange-Formalismus (parametrisierte Zeit), relativistische Dynamik, verallgemeinerte kanonische Transformationen, Anwendungen: Lorentz-Transformation als kanonische Transformation, verallgemeinertes Noether Theorem, relativistisches Pfadintegral, Ausblick: kovarianter Hamilton-Lagrange-Formalismus in der Feldtheorie (statische und dynamische Raumzeit)

Abelsche und nicht-abelsche Eichtheorien, Eichtheorie der Gravitation:
Teil 3: Lagrange- und kovarianter Hamilton-Formalismus in der Feldtheorie (statische Raumzeit), Klein-Gordon, Maxwell, Proca und Dirac Hamilton-Funktionen, kanonische Transformationen in Feldtheorien, Noether Theorem der Feldtheorie, Anwendungen: U(1), SU(N) Eichtheorien als kanonische Transformationen
Teil 4: Erweiterter Hamilton-Lagrange-Formalismus in der Feldtheorie (dynamische Raumzeit), kanonische Transformation von Feldern und Raumzeit, mathematische Grundlagen der Allgemeinen Relativitätstheorie, Eichtheorie der Gravitation

Spezielle Relativitätstheorie:

- Vierer-Vektoren, relativistische Kinematik, Anwendungsbeispiele
- Lorentz-Transformation, Poincare-Gruppe, Noether-Theorem
- Relativistische Formulierung der Elektrodynamik und Hydrodynamik
- Einführung in relativistische Wellengleichungen

Kovariante Elektrodynamik und spezielle Relativitätstheorie: Einführung des Feldstärketensors, kovariante Maxwell-Gleichungen; Lagrange-Formalismus für Teilchen und Felder; Noether-Theorem; Energie-Impuls-Tensor; Einführung in relativistische Wellengleichungen; kovariante Formulierung des elektromagnetischen Strahlungsfeldes; Lienard-Wiechert-Potentiale und Bremsstrahlung; Weizsäcker-Williams-Methode und Photonenspektrum

Konzepte der modernen theoretischen Physik: Darstellung übergreifender Zusammenhänge in der Physik an Beispielen aus der Mechanik, Elektrodynamik, und Quantenmechanik. Grundlegende Einführung und Vertiefung der Begriffe der speziellen Relativitätstheorie und in Symmetrien und Gruppen am Beispiel der Rotationsgruppe und der Lie-Gruppen. Formulierung der Theorien im (relativistischen) Lagrangeformalismus.

Markov chain Monte Carlo simulations and their statistical analysis: Statistical mechanics reminder (equilibrium, fluctuations, correlations, responses, critical phenomena); Monte Carlo integration techniques, Markov chain Monte Carlo simulations techniques; the Metropolis algorithm; application of Markov Chain Monte Carlo to the Ising model; measurements in Monte Carlo simulations (magnetisation, entropy and energy density); statistical analysis of Monte Carlo results (autocorrelation, resampling methods for secondary observables and their error); statistical vs. systematic errors; critical slowing down; alternative algorithms (Wolff, multigrid method); the single/multi histogram reweighing technique for data interpolation; finite size scaling analysis techniques for identification of phase transitions.

Die Studierenden müssen mindestens zwei und können maximal drei Lehrveranstaltungen absolvieren. Dabei kann frei aus den verfügbaren Lehrveranstaltungen ausgewählt werden.

Lernergebnisse/Kompetenzziele

Dieses Modul bereitet die Studierenden auf eine Abschlussarbeit im Bereich Kern- und Elementarteilchenphysik vor. Nach Absolvieren des Moduls sind die Studierenden in dem von ihnen gewählten Vertiefungsbereich in der Lage, sich selbstständig in die aktuelle Forschung einzuarbeiten bzw. direkt zu ihr beizutragen:

- Die Studierenden kennen alle wesentlichen Konzepte und Fachbegriffe und verstehen deren inhaltliche Zusammenhänge.
- Die Studierenden können forschungsnahe Problemstellungen thematisch einordnen und mit den vermittelten Methoden analysieren.
- Die Studierenden können weiterführende Informationen zu einer gegebenen Fragestellung in Fachliteratur und Internet recherchieren.
- Die Studierenden können aktuelle wissenschaftliche Publikationen verstehen und wiedergeben.
- Die Studierenden besitzen das experimentelle oder theoretische Rüstzeug, um eine gegebene wissenschaftliche Fragestellung selbst quantitativ zu untersuchen und zu beantworten.

Teilnahmevoraussetzungen für Modul bzw. einzelne Veranstaltungen des Moduls

keine

Empfohlene Vorkenntnisse

abhängig von den gewählten Lehrveranstaltungen:

Transporttheorie: Statistische Mechanik

Thermische Quantenfeldtheorie: Quantentheorie I, Theoretische Physik 5, wünschenswert: Einführung in die Quantenfeldtheorie und das Standardmodell der Teilchenphysik

Erweiterter Hamilton-Lagrange Formalismus in Punktmechanik und Feldtheorie: Grundlagen des klassischen Lagrange- und Hamiltonformalismus, Vektoranalysis, Lineare Algebra, Basiswissen Tensoranalysis

Abelsche und nicht-abelsche Eichtheorien, Eichtheorie der Gravitation: Grundlagen des klassischen Lagrange- und Hamiltonformalismus, Vektoranalysis, Lineare Algebra, Basiswissen Tensoranalysis

Spezielle Relativitätstheorie: Inhalt der Veranstaltungen *Experimentalphysik 1–2*, *Theoretische Physik 1–2*

Kovariante Elektrodynamik und spezielle Relativitätstheorie: Inhalt der Veranstaltungen *Theoretische Physik 2: Klassische Mechanik*, *Theoretische Physik 3: Elektrodynamik*, Grundkenntnisse der speziellen Relativitätstheorie

Konzepte der modernen theoretischen Physik: Grundlagen der Mechanik, Elektrodynamik, Quantenmechanik. Grundkenntnisse der speziellen Relativitätstheorie. *Markov chain Monte Carlo simulations and their statistical analysis*: Basic understanding of (a) statistical mechanics; (b) statistics, error analysis and fitting techniques.	
Zuordnung (Studiengang/Fachbereich)	BSc Physik / FB Physik
Verwendbarkeit	BSc Physik
Zugehörigkeit zu Schwerpunkten	AKT
Häufigkeit des Angebots	jährlich
Dauer	zweisemestrig
Modulbeauftragte / Modulbeauftragter	Philipsen
Studiennachweise / Prüfungsvorleistungen	
Teilnahmenachweise	abhängig von den gewählten Lehrveranstaltungen: *Transporttheorie*: regelmäßige Teilnahme an den Übungen *Thermische Quantenfeldtheorie*: regelmäßige Teilnahme an den Übungen *Erweiterter Hamilton-Lagrange Formalismus in Punktmechanik und Feldtheorie*: regelmäßige Teilnahme an den Übungen *Abelsche und nicht-abelsche Eichtheorien, Eichtheorie der Gravitation*: regelmäßige Teilnahme an den Übungen *Spezielle Relativitätstheorie*: keine *Kovariante Elektrodynamik und spezielle Relativitätstheorie*: regelmäßige Teilnahme an den Übungen *Konzepte der modernen theoretischen Physik*: keine *Markov chain Monte Carlo simulations and their statistical analysis*: regelmäßige Teilnahme an den Übungen
Leistungsnachweise	abhängig von den gewählten Lehrveranstaltungen: *Transporttheorie*: erfolgreiche Bearbeitung von in der Regel wöchentlichen Übungsaufgaben *Thermische Quantenfeldtheorie*: erfolgreiche Bearbeitung von in der Regel wöchentlichen Übungsaufgaben *Erweiterter Hamilton-Lagrange Formalismus in Punktmechanik und Feldtheorie*: erfolgreiche Bearbeitung von in der Regel wöchentlichen Übungsaufgaben *Abelsche und nicht-abelsche Eichtheorien, Eichtheorie der Gravitation*: erfolgreiche Bearbeitung von in der Regel wöchentlichen Übungsaufgaben *Spezielle Relativitätstheorie*: Fachgespräch (ca. 30 Min.) oder Test *Kovariante Elektrodynamik und spezielle Relativitätstheorie*: aktive Teilnahme an den Übungen sowie Fachgespräch (ca. 30 Min.) oder Test *Konzepte der modernen theoretischen Physik*: Fachgespräch (ca. 30 Min.) oder Test

Prüfungsvorleistungen	*Markov chain Monte Carlo simulations and their statistical analysis*: erfolgreiche Bearbeitung von in der Regel wöchentlichen Übungsaufgaben Erbringen aller Leistungsnachweise in der Lehrveranstaltung, zu der die lehrveranstaltungsbezogene Modulprüfung stattfinden soll
Lehr- / Lernformen	Vorlesungen, Übungen
Unterrichts- / Prüfungssprache	Deutsch oder Englisch
Modulprüfung	
Modulabschlussprüfung, benotet	Die Modulprüfung zu diesem Modul erfolgt lehrveranstaltungsbezogen: In einer Lehrveranstaltung des Moduls nach Wahl der oder des Studierenden werden sowohl die konkreten Inhalte der jeweiligen Lehrveranstaltung als auch die übergeordneten Lernziele des Moduls abgeprüft. Alle anderen von der oder dem Studierenden in diesem Modul absolvierten Lehrveranstaltungen werden mit den oben aufgeführten Leistungsnachweisen abgeschlossen.
bestehend aus:	mündliche Prüfung (ca. 30 Min.) oder Klausur (90 Min.)

Lehrveranstaltungen des Moduls	LV-Form	SWS	CP	Pf/WP	Semester					
					1	2	3	4	5	6
Transporttheorie (Transport Theory)	V+Ü	2+1	4	WP						X
Thermische Quantenfeldtheorie (Thermal quantum field theory)	V+Ü	2+1	4	WP						X
Erweiterter Hamilton-Lagrange Formalismus in Punktmechanik und Feldtheorie (Extended Hamilton-Lagrange Formalism in Point Mechanics and Field Theory)	V+Ü	2+1	4	WP			X		X	
Abelsche und nicht-abelsche Eichtheorien, Eichtheorie der Gravitation (Abelian and Non-abelian Gauge Theories, Gauge Theory of Gravitation)	V+Ü	2+1	4	WP				X		X
Spezielle Relativitätstheorie (Special Relativity)	V	2	3	WP				X		X
Kovariante Elektrodynamik und spezielle Relativitätstheorie (Covariant Electrodynamics and Special Theory of Relativity)	V+Ü	2+1	4	WP				X		X
Konzepte der modernen theoretischen Physik (Concepts of modern theoretical physics)	V	2	3	WP				X	X	X
Markov chain Monte Carlo simulations and their statistical analysis	V+Ü	2+1	4	WP				X		X
Summe		4–9	6–12							

3.4 Physik der Kondensierten Materie

VEXFP1	**Experimentelle Festkörperphysik 1** (Experimental Solid State Physics 1)	Wahlpflicht-modul	6 CP (insg.) = 180 h		4 SWS
			Kontaktstudium 4 SWS / 60 h	Selbststudium 120 h	

Inhalte	
Auswahl aus folgenden Themen: Struktur und Strukturbestimmung, Grundlagen der Beugungstheorie, reziprokes Gitter, Gitterdynamik (Phononen), thermische Eigenschaften (spezifische Wärme, thermische Ausdehnung, Wärmeleitfähigkeit), elektronische Bandstruktur, Fermi-Flächen und deren experimentelle Bestimmung, Transportphänomene, dielektrische und optische Eigenschaften, Magnetismus. Es werden Beispiele aus der aktuellen Forschung diskutiert.	
Lernergebnisse/Kompetenzziele	
Die Studierenden können eine Bewegungsgleichung für die gekoppelte Bewegung aller Atome im Festkörper aufstellen und Näherungsverfahren entwickeln, um sie zu lösen. Sie können außerdem die Schwierigkeiten identifizieren, die die Beschreibung vieler (insbesondere wechselwirkender) Teilchen (Elektronen) in einem periodischen Potential, z.B. des Kristallgitters, mit sich bringt und ein Konzept zur Lösung des Problems erarbeiten. Die gewonnenen Erkenntnisse können sie kritisch bewerten und deren Gültigkeitsbereich im Vergleich mit experimentellen Beobachtungen, gewonnen durch moderne physikalische Messmethoden, verifizieren. Die Studierenden lernen dabei, sich die Grundlagen für die weitere Beschäftigung mit speziellen Themen wie Supraleitung, Magnetismus und Halbleiterphysik, sowie der technischen Anwendung von Festkörpermaterialien, auf breiter Basis zu erarbeiten. Das Modul bereitet Studierende auf eine Bachelor- oder Masterarbeit in experimenteller Festkörperphysik vor.	
Teilnahmevoraussetzungen für Modul bzw. einzelne Veranstaltungen des Moduls	
keine	
Empfohlene Vorkenntnisse	
Die Vorlesung baut auf die in der „Einführung in die Festkörperphysik“(VEX4B) vermittelten Grundlagen zum atomaren Aufbau und zur elektronischen Struktur von Festkörpern auf. Es werden außerdem einfache Methoden der Quantenmechanik verwendet.	
Zuordnung (Studiengang/Fachbereich)	BSc Physik, MSc Physik / FB Physik
Verwendbarkeit	BSc Physik, MSc Physik
Zugehörigkeit zu Schwerpunkten	KMQ
Häufigkeit des Angebots	jährlich
Dauer	einsemestrig
Modulbeauftragte / Modulbeauftragter	Müller
Studiennachweise / Prüfungsvorleistungen	
Teilnahmenachweise	regelmäßige Teilnahme an den Übungen
Leistungsnachweise	erfolgreiche Bearbeitung von in der Regel wöchentlichen Übungsaufgaben
Prüfungsvorleistungen	Erbringen aller Leistungsnachweise
Lehr- / Lernformen	Vorlesung, Übung
Unterrichts- / Prüfungssprache	Deutsch

Modulprüfung										
Modulabschlussprüfung, benotet										
bestehend aus:	mündliche Prüfung (ca. 30 Min.) oder Klausur (90 Min.)									
Lehrveranstaltungen des Moduls	LV-Form	SWS	CP	Pf/WP	Semester					
					1	2	3	4	5	6
Experimentelle Festkörperphysik 1 (Experimental Solid State Physics 1)	V+Ü	3+1	6	Pf					X	
Summe		4	6							

VEXFP2	**Experimentelle Festkörperphysik 2** (Experimental Solid State Physics 2)	Wahlpflicht-modul	6 CP (insg.) = 180 h		4 SWS
			Kontaktstudium 4 SWS / 60 h	Selbststudium 120 h	

Inhalte

Auswahl aus folgenden Themen: Struktur und Strukturbestimmung, Grundlagen der Beugungstheorie, reziprokes Gitter, Gitterdynamik (Phononen), thermische Eigenschaften (spezifische Wärme, thermische Ausdehnung, Wärmeleitfähigkeit), elektronische Bandstruktur, Fermi-Flächen und deren experimentelle Bestimmung, Transportphänomene, dielektrische und optische Eigenschaften, Magnetismus. Es werden Beispiele aus der aktuellen Forschung diskutiert.

Lernergebnisse/Kompetenzziele

Nach erfolgreicher Beendigung des Moduls sind die Studierenden sehr gut mit komplexeren festkörperphysikalischen Eigenschaften, die sich aus der Fermi-Statistik und der elektronischen Bandstruktur ergeben, vertraut. Sie sind in der Lage, eine grundlegende Integro-Differentialgleichung, wie die Boltzmannsche Transportgleichung, aufzustellen und mittels eines Näherungsverfahrens zu lösen. Sie können selbständig die relevanten Fragestellungen identifizieren, die mit der Wechselwirkung von Ladungsträgern mit elektromagnetischer Strahlung oder mit kollektiven elektrischen und magnetischen Ordnungsphänomenen zusammenhängen, und Lösungswege aufzeigen. Insbesondere sind sie in der Lage, experimentelle Ansätze zu ermitteln und deren Ergebnisse zu interpretieren, um diese theoretischen Beschreibungen zu überprüfen. Die Studierenden lernen dabei, sich die Grundlagen für die weitere Beschäftigung mit speziellen Themen wie Supraleitung, Magnetismus und Halbleiterphysik, sowie der technischen Anwendung von Festkörpermaterialien, auf breiter Basis zu erarbeiten. Das Modul bereitet Studierende auf eine Bachelor- oder Masterarbeit in experimenteller Festkörperphysik vor.

Teilnahmevoraussetzungen für Modul bzw. einzelne Veranstaltungen des Moduls

keine

Empfohlene Vorkenntnisse

Die Vorlesung baut auf den in VEX4B und VEXFP1 vermittelten Grundlagen zum atomaren Aufbau und zur elektronischen Struktur von Festkörpern auf. Es werden außerdem einfache Methoden der Quantenmechanik verwendet.

Zuordnung (Studiengang/Fachbereich)	BSc Physik, MSc Physik / FB Physik
Verwendbarkeit	BSc Physik, MSc Physik
Zugehörigkeit zu Schwerpunkten	KMQ
Häufigkeit des Angebots	jährlich
Dauer	einsemestrig
Modulbeauftragte / Modulbeauftragter	Müller
Studiennachweise / Prüfungsvorleistungen	
Teilnahmenachweise	regelmäßige Teilnahme an den Übungen
Leistungsnachweise	erfolgreiche Bearbeitung von in der Regel wöchentlichen Übungsaufgaben
Prüfungsvorleistungen	Erbringen aller Leistungsnachweise
Lehr- / Lernformen	Vorlesung, Übung
Unterrichts- / Prüfungssprache	Deutsch

Modulprüfung										
Modulabschlussprüfung, benotet										
bestehend aus:	mündliche Prüfung (ca. 30 Min.) oder Klausur (90 Min.)									
Lehrveranstaltungen des Moduls	LV-Form	SWS	CP	Pf/WP	Semester					
					1	2	3	4	5	6
Experimentelle Festkörperphysik 2 (Experimental Solid State Physics 2)	V+Ü	3+1	6	Pf						X
Summe		4	6							

VKRISZ	Grundlagen der Kristallzüchtung (Basics of Crystal Growth)	Wahlpflicht-modul	5 CP (insg.) = 150 h		4 SWS
			Kontaktstudium 4 SWS / 60 h	Selbststudium 90 h	

Inhalte

Grundlagen der Kristallzüchtung: Charakteristika des kristallinen Zustands der Materie;
Physikalische Grundlagen der Kristallzüchtung: Phasendiagramme, Keimbildung, Segregation, Hydrodynamik;
Methoden zur Kristallzüchtung aus verschiedenen ungeordneten Ausgangsphasen;
Kristallzüchtung ausgewählter Systeme aus der Festkörperforschung;
Verfahren zur Material- und Kristallcharakterisierung: Differentielle Thermoanalyse, Röntgendiffraktometrie, Optische und Elektronenmikroskopie.

Praktikum Grundlagen der Kristallzüchtung: Im Rahmen des Laborpraktikums werden die in der Vorlesung gelernten Züchtungs- und Charakterisierungsmethoden konkret auf ein System angewendet.

Lernergebnisse/Kompetenzziele

Das Modul vermittelt die erforderlichen Grundlagen zur erfolgreichen Mitarbeit in einem experimentellen Projekt zur Kristallzüchtung. Die Studierenden besitzen dann die

- Fähigkeit, den hier angestebten kristallinen Zustand von anderen Erscheinungsformen fester Materie abgrenzen zu können.
- Fähigkeit zur Beurteilung der Machbarkeit von Kristallzüchtungsvorhaben auf Grundlage von Phasendiagrammen.
- Kenntnis der experimentellen Vorgehensweise zur Bestimmung von Phasendiagrammen.
- Kenntnis der Mechanismen der Keimselektion und Einsicht in die Bedingungen unter denen eine erfolgreiche Keimbildungskontrolle möglich ist.
- Kenntnis der typischen Grenzschichten während des Kristallwachstums und Einsicht in die hierdurch vermittelten Einwirkungen hydrodynamischer Instabilitäten auf die Materialeigenschaften.
- Kenntnis typischer Kristallzüchtungsmethoden und Fähigkeit, diese nach spezifischen Schwierigkeiten und Realisierungsaufwand zu beurteilen.
- Fähigkeit, kristalline Proben über Mikroskopie und Röntgenmethoden so zu charakterisieren, dass sie erfolgreich in die Festkörperforschung eingebracht werden können.
- Kenntnis der Kristallzüchtungsmethoden in der Festkörperphysik

Teilnahmevoraussetzungen für Modul bzw. einzelne Veranstaltungen des Moduls

keine

Empfohlene Vorkenntnisse

Breites Grundlagenwissen aus den Veranstaltungen Experimentalphysik 1, 2, und 3a) sowie den Anfängerpraktika 1 und 2, insbesondere betreffend: Beschreibung von Bewegungsvorgängen, Hydrodynamik und Hydrostatik, Umgang mit thermodynamischen Potentialen, elektrische Meßtechnik, Induktionsvorgänge, Beugung und Interferenz, Erzeugung von Röntgenlicht, Aufbau und Funktion von Mikroskopen.

Zuordnung (Studiengang/Fachbereich)	BSc Physik, MSc Physik / FB Physik
Verwendbarkeit	BSc Physik, MSc Physik
Zugehörigkeit zu Schwerpunkten	KMQ

Häufigkeit des Angebots	jährlich
Dauer	einsemestrig
Modulbeauftragte / Modulbeauftragter	Krellner
Studiennachweise / Prüfungsvorleistungen	
Teilnahmenachweise	regelmäßige Teilnahme an den Übungen und am Praktikum
Leistungsnachweise	erfolgreiche Bearbeitung von in der Regel wöchentlichen Übungsaufgaben
Prüfungsvorleistungen	Erbringen aller Leistungsnachweise
Lehr- / Lernformen	Vorlesung, Übung, Praktikum
Unterrichts- / Prüfungssprache	Deutsch oder Englisch
Modulprüfung	
Modulabschlussprüfung, benotet	
bestehend aus:	mündliche Prüfung (ca. 30 Min.) oder Klausur (60 Min.)

Lehrveranstaltungen des Moduls	LV-Form	SWS	CP	Pf/WP	Semester					
					1	2	3	4	5	6
Grundlagen der Kristallzüchtung (Basics of Crystal Growth)	V+Ü	2+1	4	Pf					X	
Praktikum Grundlagen der Kristallzüchtung (Lab Class Basics of Crystal Growth)	P	1	1	Pf					X	
Summe		4	5							

VTHFP1	**Einführung in die Theoretische Festkörperphysik** (Introduction to Theoretical Solid State Physics)	Wahlpflicht-modul	8 CP (insg.) = 240 h		6 SWS
			Kontaktstudium 6 SWS / 90 h	Selbststudium 150 h	

Inhalte

Struktur von Festkörpern, Born-Oppenheimer Näherung, Gitterschwingungen, nichtwechselwirkende Elektronen, Bloch Theorem, Bandstruktur, Halbleiter, elektronischer Transport, Elektron-Elektron-Wechselwirkung, Modelle für wechselwirkende Elektronen

Lernergebnisse/Kompetenzziele

Die Studierenen haben einen Überblick über die grundlegenden Konzepte der theoretischen Festkörperphysik. Sie kennen die kristalline Struktur von Festkörpern, wissen um die Existenz unterschiedlicher kondensierter Phasen und sind mit den elektronischen und thermodynamischen Eigenschaften von Festkörpern sowie den elementaren Anregungen in ihnen vertraut. Sie beherrschen die heute gebräuchlichen fortschrittlichen Methoden zur theoretischen Beschreibung dieser Phänomene.
Die Studierenden lernen insbesondere, wie physikalische Beobachtungen in der Festkörperphysik mit mathematischen Gleichungen dargestellt werden können. Außerdem fördert die Behandlung der Gleichungen die Kreativität der Studierenden bei ihren Überlegungen, wie sie zu lösen sind.
Dieses Modul bereitet die Studierenden auf eine Abschlussarbeit im Bereich der theoretischen Festkörperphysik vor. Nach Absolvieren des Moduls sind sie in dem von ihnen gewählten Vertiefungsbereich in der Lage, sich selbstständig in die aktuelle Forschung in der theoretischen Festkörperphysik einzuarbeiten bzw. direkt zu ihr beizutragen.
Das Modul kann ergänzend zur experimentellen Festkörperphysik (Module VEXFP1 & 2) absolviert werden.

Teilnahmevoraussetzungen für Modul bzw. einzelne Veranstaltungen des Moduls

keine

Empfohlene Vorkenntnisse

Inhalt der Veranstaltungen *Experimentalphysik 1–4*, *Theoretische Physik 1–4*

Zuordnung (Studiengang/Fachbereich)	BSc Physik, MSc Physik / FB Physik
Verwendbarkeit	BSc Physik, MSc Physik
Zugehörigkeit zu Schwerpunkten	KMQ
Häufigkeit des Angebots	jährlich
Dauer	einsemestrig
Modulbeauftragte / Modulbeauftragter	Valenti
Studiennachweise / Prüfungsvorleistungen	
Teilnahmenachweise	regelmäßige Teilnahme an den Übungen
Leistungsnachweise	erfolgreiche Bearbeitung von in der Regel wöchentlichen Übungsaufgaben
Prüfungsvorleistungen	Erbringen aller Leistungsnachweise
Lehr- / Lernformen	Vorlesung, Übung
Unterrichts- / Prüfungssprache	Deutsch

Modulprüfung										
Modulabschlussprüfung, benotet										
bestehend aus:	mündliche Prüfung (ca. 30 Min.) oder Klausur (90 Min.)									
Lehrveranstaltungen des Moduls	LV-Form	SWS	CP	Pf/WP	Semester					
					1	2	3	4	5	6
Einführung in die Theoretische Festkörperphysik (Introduction to Theoretical Solid State Physics)	V+Ü	4+2	8	Pf					X	
Summe		6	8							

VTHFP2	**Theorie des Magnetismus, der Supraleitung und der elektronischen Korrelationen**	Wahlpflicht-modul	6 CP (insg.) = 180 h		5 SWS
	(Theory of magnetism, superconductivity and electron-electron correlation)		Kontaktstudium 5 SWS / 75 h	Selbststudium 105 h	

Inhalte

Wechselwirkende Elektronen, Hartree-Fock Theorie, Magnetismus, Supraleitung, Fermi-Flüssigkeitstheorie und Quasi-Teilchen-Konzept, Quanten-Hall-Effekt

Lernergebnisse/Kompetenzziele

Die Studierenden sind im Detail mit dem quantenmechanischen Hintergrund des Magnetismus vertraut. Sie wissen um die Existenz kollektiver Phänomene in Festkörpern wie der Supraleitung und können diese von 1-Teilchen-Quanteneffekten abgrenzen. Sie beherrschen die in der modernen theoretischen Festkörperphysik üblicherweise verwendeten Vielteilchenmethoden, insbesondere die Dichtefunktional-Theorie, aber auch Zugänge zur Beschreibung hochkorrelierter Zustände. Im Zusammenspiel der behandelten physikalischen Probleme mit den verschiedenen für die Beschreibung wechselwirkender Vielteilchensysteme eingesetzten Methoden gewinnen die Studierenden ein tiefes Verständnis für die fundamental nicht-klassischen Phänomene in Festkörpern. Die Studierenden können auf dieser Basis physikalische Fragestellungen in abstrakte mathematische Gleichungen übersetzen und sind in der Lage, mit den resultierenden, zunehmend komplexeren mathematischen Methoden auch praktisch umzugehen.
Dieses Modul bereitet die Studierenden auf eine Masterarbeit in der theoretischen Festkörperphysik vor. Nach Absolvieren des Moduls sind sie in der Lage, sich selbstständig in die aktuelle Forschung in der theoretischen Festkörperphysik einzuarbeiten bzw. direkt zu ihr beizutragen.
Das Modul kann ergänzend zur experimentellen Festkörperphysik (Module VEXFP1 & 2) absolviert werden.

Teilnahmevoraussetzungen für Modul bzw. einzelne Veranstaltungen des Moduls

keine

Empfohlene Vorkenntnisse

Inhalt der Veranstaltungen *Experimentalphysik 1–4*, *Theoretische Physik 1–5*, *Einführung in die Theoretische Festkörperphysik*

Zuordnung (Studiengang/Fachbereich)	BSc Physik, MSc Physik / FB Physik
Verwendbarkeit	BSc Physik, MSc Physik
Zugehörigkeit zu Schwerpunkten	KMQ
Häufigkeit des Angebots	jährlich
Dauer	einsemestrig
Modulbeauftragte / Modulbeauftragter	Valenti
Studiennachweise / Prüfungsvorleistungen	
Teilnahmenachweise	regelmäßige Teilnahme an den Übungen
Leistungsnachweise	erfolgreiche Bearbeitung von in der Regel wöchentlichen Übungsaufgaben
Prüfungsvorleistungen	Erbringen aller Leistungsnachweise
Lehr- / Lernformen	Vorlesung, Übung

Unterrichts- / Prüfungssprache	Deutsch oder Englisch									
Modulprüfung **Modulabschlussprüfung, benotet** **bestehend aus:**	mündliche Prüfung (ca. 30 Min.) oder Klausur (90 Min.)									
Lehrveranstaltungen des Moduls	LV-Form	SWS	CP	Pf/WP	Semester					
					1	2	3	4	5	6
Theorie des Magnetismus, der Supraleitung und der elektronischen Korrelationen (Theory of magnetism, superconductivity and electron-electron correlation)	V+Ü	3+2	6	Pf						X
Summe		5	6							

VKEXFPB	**Spezielle Themen der experimentellen Festkörperphysik für BSc-Studierende**	Wahlpflicht-modul	6–10 CP (insg.) = 180–300 h		4–7 SWS
	(Special Topics in Experimental Condensed Matter Physics for BSc Students)		Kontaktstudium 4–7 SWS / 60–105 h	Selbststudium 120–195 h	

Inhalte

abhängig von den gewählten Lehrveranstaltungen:

Magnetismus — Grundlagen, Methoden, Materialien: Auswahl aus folgenden Themen: Historischer Überblick, Magnetostatik, Magnetismus lokalisierter Elektronen, Ferromagnetismus und Austauschwechselwirkung, Molekularfeldtheorie, Antiferromagnetismus und andere Arten magnetischer Ordnung (z.B. Skyrmionen), magnetische Domänen, Magnetisierungsdynamik, Magnetismus von Nanostrukturen, moderne Messmethoden aus der aktuellen Forschung, magnetische Materialien für technische Anwendungen.

Einführung in die Supraleitung: Auswahl aus folgenden Themen: Grundlegende supraleitende Eigenschaften, Phänomenologie und Thermodynamik, phänomenologische Modelle: London- und Ginzburg-Landau-Theorie, Typ-I- und Typ-II-Supraleiter, Quanteninterferenzphänomene (Josephson-Effekte), Grundzüge der BCS-Theorie, Konsequenzen der BCS-Theorie, Bose-Einstein-Kondensation, Anwendungen der Supraleitung (z.B. Quanten-Computing), neue supraleitende Materialien, konventionelle und unkonventionelle Supraleiter.

Experimentelle Tieftemperaturphysik: Auswahl aus folgenden Themen: Temperaturskalen, Thermometrie, Quantenflüssigkeiten ^{4}He/^{3}He: Phasendiagramme, Superfluidität, Kühltechniken im Kelvin- sowie Subkelvin- und Submillikelvin-Bereich.

Ausgewählte Methoden der experimentellen Festkörperphysik: Tieftemperaturphysik/Kryotechnik, Probenherstellung, Streuexperimente/Spektroskopie (Neutronen, optische Methoden, Photoemission), thermodynamische Methoden (z.B. spezifische Wärme, thermische Ausdehnung), magnetische Messungen (auf der Makro-, Mikro- und Nanoskala), elektrischer und thermischer Transport (auch zeitaufgelöst) und dielektrische Messungen, Rastersondenmethoden (Elektronenmikroskopie, Rastertunnel- und Rasterkraftmikroskopie), etc. Beispiele aus folgenden Forschungsbereichen: stark korrelierte Elektronensysteme, Metall-Isolator-Übergänge, Physik der Gläser, Magnetismus, Supraleitung, Nanoelektronik, (magnetische) Halbleiter, Spintronics, u.a.

Elektronische Eigenschaften von Nanostrukturen: Ausgewählte Kapitel der Quantentheorie (Sub-Bänder und niedrig-dimensionale Systeme, Quantenbox, Quantenpunkt, Quantenreflexion/Transmission/Tunneln, etc.), Materialien (Halbleiter-Heterostrukturen, Organische Halbleiter, Kohlenstoff-Nanoröhren und Fullerene, Graphen, Granulare Systeme, etc.), Fabrikations- und Charakterisierungstechniken (Dünnschichttechniken, Nanostrukturierung, Selbstorganisation, Rasterkraftmikroskopie, etc.), Elektronischer Transport in Nanostrukturen (Streulängen, Diffusion, Dephasierung, Landauer-Formel, etc.), Einzelelektronentunneln und Bauelemente (Coulomb-Blockade, Einzelelektronentransistor, Coulomb-Oszillationen, etc.).

Halbleiter- und Bauelementephysik: Einführung der festkörperphysikalischen Besonderheiten von Halbleitern (Materialeigenschaften, Bandstruktur, Exzitonen, Dotierung, DC-Leitfähigkeit); Übergänge und Kontakte (p-n-Übergang, Schottky-Kontakt, Ohmscher Kontakt, Heterostruktur-Übergang); Feldeffekt, Tunneleffekt; Halbleiterbauelemente (Diode, Bipolartransistor, Feldeffekttransistor, Leuchtdiode, etc); Hochfrequenzeigenschaften und -bauelemente (Gunn-Effekt, Schottkydiode), Quantisierungseffekte und ihre Nutzung (Resonante Tunneldiode, HEMT-Transistor, HBT-Transistor, etc.); Bauelementemodellierung und Schaltungsentwurf; Bauelemente auf Nicht-Standardhalbleitern (Graphen, Kohlenstoffröhren).

Die Studierenden müssen mindestens zwei und können maximal drei Lehrveranstaltungen absolvieren. Dabei kann frei aus den verfügbaren Lehrveranstaltungen ausgewählt werden.

Lernergebnisse/Kompetenzziele	
Dieses Modul bereitet die Studierenden auf eine Abschlussarbeit im Bereich Festkörperphysik vor. Nach Absolvieren des Moduls sind die Studierenden in dem von ihnen gewählten Vertiefungsbereich in der Lage, sich selbstständig in die aktuelle Forschung einzuarbeiten bzw. direkt zu ihr beizutragen: • Die Studierenden kennen alle wesentlichen Konzepte und Fachbegriffe und verstehen deren inhaltliche Zusammenhänge. • Die Studierenden können forschungsnahe Problemstellungen thematisch einordnen und mit den vermittelten Methoden analysieren. • Die Studierenden können weiterführende Informationen zu einer gegebenen Fragestellung in Fachliteratur und Internet recherchieren. • Die Studierenden können aktuelle wissenschaftliche Publikationen verstehen und wiedergeben. • Die Studierenden besitzen das experimentelle oder theoretische Rüstzeug, um eine gegebene wissenschaftliche Fragestellung selbst quantitativ zu untersuchen und zu beantworten.	
Teilnahmevoraussetzungen für Modul bzw. einzelne Veranstaltungen des Moduls	
keine	
Empfohlene Vorkenntnisse	
Generell für alle Lehrveranstaltungen: Grundlegende Konzepte der Festkörperphysik aus *Einführung in die Festkörperphysik* (VEX4B). Außerdem die grundlegenden Vorlesungen zur *Experimentalphysik 1–3* und *Theoretische Physik 1–4*, insbesondere Grundkenntnisse in Quantenmechanik. Nützlich sind grundlegende Konzepte der Thermodynamik und Statistischen Mechanik, wie in *Theoretische Physik 5* vermittelt (kann auch parallel gehört werden). Empfehlenswert: *Experimentelle Festkörperphysik 1* (VEXFP1), kann auch parallel gehört werden.	
Zuordnung (Studiengang/Fachbereich)	BSc Physik / FB Physik
Verwendbarkeit	BSc Physik
Zugehörigkeit zu Schwerpunkten	KMQ
Häufigkeit des Angebots	jährlich
Dauer	zweisemestrig
Modulbeauftragte / Modulbeauftragter	Müller
Studiennachweise / Prüfungsvorleistungen	
Teilnahmenachweise	im Fall aller Lehrveranstaltungen ohne Übung: keine *Halbleiter- und Bauelementephysik*: regelmäßige Teilnahme an den Übungen
Leistungsnachweise	im Fall aller Lehrveranstaltungen ohne Übung: Fachgespräch (ca. 30 Min.) oder Test *Halbleiter- und Bauelementephysik*: erfolgreiche Bearbeitung von in der Regel wöchentlichen Übungsaufgaben
Prüfungsvorleistungen	Erbringen aller Leistungsnachweise in der Lehrveranstaltung, zu der die lehrveranstaltungsbezogene Modulprüfung stattfinden soll
Lehr- / Lernformen	Vorlesungen, Übung

Unterrichts- / Prüfungssprache	Deutsch oder Englisch für jede Lehrveranstaltung des Moduls
Modulprüfung	
Modulabschlussprüfung, benotet	Die Modulprüfung zu diesem Modul erfolgt lehrveranstaltungsbezogen: In einer Lehrveranstaltung des Moduls nach Wahl der oder des Studierenden werden sowohl die konkreten Inhalte der jeweiligen Lehrveranstaltung als auch die übergeordneten Lernziele des Moduls abgeprüft. Alle anderen von der oder dem Studierenden in diesem Modul absolvierten Lehrveranstaltungen werden mit den oben aufgeführten Leistungsnachweisen abgeschlossen.
bestehend aus:	mündliche Prüfung (ca. 30 Min.) oder Klausur (90 Min.)

Lehrveranstaltungen des Moduls	LV-Form	SWS	CP	Pf/WP	Semester					
					1	2	3	4	5	6
Magnetismus — Grundlagen, Methoden, Materialien (Magnetism — Foundations, Methods, Materials)	V	2	3	WP					X	
Einführung in die Supraleitung (Introduction to Superconductivity)	V	2	3	WP					X	
Experimentelle Tieftemperaturphysik (Experimental Low Temperature Physics)	V	2	3	WP					X	
Ausgewählte Methoden der experimentellen Festkörperphysik (Selected Methods of Experimental Solid State Physics)	V	2	3	WP					X	
Elektronische Eigenschaften von Nanostrukturen (Electronic Properties of Nanostructures)	V	2	3	WP						X
Halbleiter- und Bauelementephysik (Physics of Semiconductors and Electronic Devices)	V+Ü	2+1	4	WP						X
Summe		4–7	6–10							

3.5 Optik, Laser- und Atomphysik

VKATOB	**Spezielle Themen der Atomphysik für BSc-Studierende** (Special Topics in Atomic Physics for BSc Students)	Wahlpflicht-modul	6–9 CP (insg.) = 180–270 h		4–6 SWS
			Kontaktstudium 4–6 SWS / 60–90 h	Selbststudium 120–180 h	

Inhalte

abhängig von den gewählten Lehrveranstaltungen:

Atomphysik 1: Atome als quantenmechanische Teilchen: Quantenoptik mit Atomen, Doppelspalt mit Materiewellen, Dekohärenz, Verschränkung, Quantenkryptography, Quantenradierer. Wechselwirkung von Atomen und Molekülen mit einzelnen Photonen, Photoeffekt, Wirkungsquerschnitt, Drehimpulse, Wechselwirkung von Atomen mit starken Laserfeldern

Atomphysik 2: Moleküle: quantenmechanische Beschreibung, Superposition von atomaren Zuständen (LCAO), Born/Oppenheimer-Näherung, Beschreibung molekularer Potentiale, Franck/Condon-Prinzip, Photoionisation von Molekülen, zeitlicher Ablauf und Wigner-Phase, Emissionswinkelverteilung im molekularen Bezugssystem, Auger-Zerfall in Atomen und Molekülen, Post Collision Interaction, nicht-lokale molekulare Zerfallsprozesse, Interatomic Coulombic Decay und verwandte Prozesse, stationäre Zustände und "Bewegung" in der Quantenmechanik

Abbildungsmethoden der modernen Atomphysik: Vor- und Nachteile verschiedener typischer Messsonden (geladene Teilchen, kurze intensive Laser Pulse, Synchrotronstrahlung). Targets: insbes. effusive Gastargets, Atom- und Molekularstrahlen, Überschallgasjets. Detektoren: u. a. Channeltrons, MCPs, Phosphorschirme, CCDs, Delaylineanoden. Aktuelle Techniken: Impulsspektroskopie, velocity map imaging, magnetische Flasche, Coulomb Explosion Imaging, Flugzeitspektrometer, dispers. Elektronenspektrometer, Röntgenbeugung, PEEM, Photoelectron diffraction

Laser- und Optoelektronik: Mathematische Beschreibung elektromagnetischer Felder, Fourier-Transformationen, zeitliche und räumliche Wellenausbreitung, Gauß-Strahlen, geometrische Optik, optische Resonatoren, Wellendispersion. Lasergrundlagen: Strahlende Übergänge, spektrale Verbreiterung, Verstärkungssättigung, Dauerstrich- und gepulster Laserbetrieb, Modenkopplung, verschiedene Lasertypen (Gas, Festkörper, Farbstoff), Halbleiterlaser. Nichtlineare Optik: Oberwellenerzeugung, Phasenanpassung, elektrooptische Modulation, Selbstphasenmodulation, Messung optischer Pulse, Detektion optischer Strahlung.

Grundlagen der Analytik und Oberflächenmodifizierung mit Ionenstrahlen: Modelle für niederenergetische Kernreaktionen; niederenergetische Teilchenbeschleuniger; Detektoren für den Nachweis von Ionen, Röntgen- und Gammastrahlung; Bremsvermögen von Ionen in Materie; Grundlagen der Ionenimplantation; Berechnung von Implantationsprofilen; Beispiele für die Oberflächenmodifizierung mittels Ionenimplantation; Überblick über die Verfahren der Ionenstrahlanalytik (RBS, PIXE, PIGE, NRA, Channeling); Tiefenprofilierung leichter Elemente mittels PIGE; Anwendung der Oberflächenmodifizierung in der Materialforschung und Medizin.

Kurzpulslasertechnologie und Starkfeldionisation von Atomen und Molekülen: Kurzpulse, Propagation, Erzeugung, Verstärkung (CPA); Strahl- und Pulsparameter (Strahlprofil, Polarisation, Fokussierbarkeit, CEP); Optik (Linsen, Spiegel, AR-Beschichtung: dielektrische Spiegel, Strahlteiler und Dünnschichtpolarisatoren, Wellenplaten, Teleskope), Aberrationen; Nichtlineare Optik: Frequenzverdoppelung, Weißlichterzeugung, Optisch-parametrische Verstärkung (TOPAS), Pulskompression; Strahl- und Pulscharakterisierung (Strahlprofil-Analyse, Autokorrelator, SPIDER, FROG, M^2); Optische Feldsynthese: Puls-Shaper, Zwei-Farben- und OAM-Felder; Pump-Probe Technik; Tunnel- und Multiphotonenionisation, Elektronen Impulsverteilungen, ADK Theorie, Semi-klassische Simulation, Nichtadiabatische Effekte, Elektronenspin, Photonenimpuls, MO-ADK; Anwendungen der Starkfeldionisation: Messung der Laserfeldintensität, Coulomb-Explosion Imaging, Erzeugung der hohen Harmonischen, Laser-Induced Electron Diffraction, Photoelectron Circular Dichroism

Die Studierenden müssen mindestens zwei und können maximal drei Lehrveranstaltungen absolvieren. Dabei kann frei aus den verfügbaren Lehrveranstaltungen ausgewählt werden.

Lernergebnisse/Kompetenzziele

Dieses Modul bereitet die Studierenden auf eine Abschlussarbeit im Bereich Atomphysik vor. Nach Absolvieren des Moduls sind die Studierenden in dem von ihnen gewählten Vertiefungsbereich in der Lage, sich selbstständig in die aktuelle Forschung einzuarbeiten bzw. direkt zu ihr beizutragen:

- Die Studierenden kennen alle wesentlichen Konzepte und Fachbegriffe und verstehen deren inhaltliche Zusammenhänge.
- Die Studierenden können forschungsnahe Problemstellungen thematisch einordnen und mit den vermittelten Methoden analysieren.
- Die Studierenden können weiterführende Informationen zu einer gegebenen Fragestellung in Fachliteratur und Internet recherchieren.
- Die Studierenden können aktuelle wissenschaftliche Publikationen verstehen und wiedergeben.
- Die Studierenden besitzen das experimentelle oder theoretische Rüstzeug, um eine gegebene wissenschaftliche Fragestellung selbst quantitativ zu untersuchen und zu beantworten.

Teilnahmevoraussetzungen für Modul bzw. einzelne Veranstaltungen des Moduls

keine

Empfohlene Vorkenntnisse

abhängig von den gewählten Lehrveranstaltungen:

Atomphysik 1: Inhalt der Module Experimentalphysik 1–3

Atomphysik 2: Inhalt der Module Experimentalphysik 1–3, Vorlesung Atomphysik 1

Abbildungsmethoden der modernen Atomphysik: Inhalt der Vorlesung Atomphysik 1

Laser- und Optoelektronik: Inhalt der Module *Experimentalphysik 1–4*, *Theoretische Physik 1–4*, *Anfängerpraktikum 1–2*

Grundlagen der Analytik und Oberflächenmodifizierung mit Ionenstrahlen: Inhalt der Module VEX1 (Mechanik, Thermodynamik), VEX2 (Elektrodynamik), VEX3 (Optik, Atome und Quanten)

Kurzpulslasertechnologie und Starkfeldionisation von Atomen und Molekülen: Experimentalphysik 3a und 3b

Zuordnung (Studiengang/Fachbereich)	BSc Physik / FB Physik
Verwendbarkeit	BSc Physik
Zugehörigkeit zu Schwerpunkten	AKT

Häufigkeit des Angebots	jährlich
Dauer	zweisemestrig
Modulbeauftragte / Modulbeauftragter	Dörner
Studiennachweise / Prüfungsvorleistungen	
Teilnahmenachweise	keine
Leistungsnachweise	abhängig von den gewählten Lehrveranstaltungen: *Atomphysik 1*: Fachgespräch (ca. 30 Min.) oder Test *Atomphysik 2*: Fachgespräch (ca. 30 Min.) oder Test *Abbildungsmethoden der modernen Atomphysik*: Fachgespräch (ca. 30 Min.) oder Test *Laser- und Optoelektronik*: Präsentation oder schriftlich zu beantwortende Quizfragen (Übungsaufgaben) oder Fachgespräch (ca. 30 Min.) *Grundlagen der Analytik und Oberflächenmodifizierung mit Ionenstrahlen*: Fachgespräch (ca. 30 Min.) oder Test *Kurzpulslasertechnologie und Starkfeldionisation von Atomen und Molekülen*: Fachgespräch (ca. 30 Min.) oder Test
Prüfungsvorleistungen	Erbringen aller Leistungsnachweise in der Lehrveranstaltung, zu der die lehrveranstaltungsbezogene Modulprüfung stattfinden soll
Lehr- / Lernformen	Vorlesungen
Unterrichts- / Prüfungssprache	Deutsch
Modulprüfung	
Modulabschlussprüfung, benotet	Die Modulprüfung zu diesem Modul erfolgt lehrveranstaltungsbezogen: In einer Lehrveranstaltung des Moduls nach Wahl der oder des Studierenden werden sowohl die konkreten Inhalte der jeweiligen Lehrveranstaltung als auch die übergeordneten Lernziele des Moduls abgeprüft. Alle anderen von der oder dem Studierenden in diesem Modul absolvierten Lehrveranstaltungen werden mit den oben aufgeführten Leistungsnachweisen abgeschlossen.
bestehend aus:	mündliche Prüfung (ca. 30 Min.) oder Klausur (90 Min.)

Lehrveranstaltungen des Moduls	LV-Form	SWS	CP	Pf/WP	Semester					
					1	2	3	4	5	6
Atomphysik 1 (Atomic Physics 1)	V	2	3	Pf				X		
Atomphysik 2 (Atomic Physics 2)	V	2	3	WP					X	
Abbildungsmethoden der modernen Atomphysik (Imaging Techniques in Atomic Physics)	V	2	3	WP				X		X
Laser- und Optoelektronik (Laser and Optoelectronics)	V	2	3	WP					X	
Grundlagen der Analytik und Oberflächenmodifizierung mit Ionenstrahlen (Principles of Analytics and Surface Modification with Ion Beams)	V	2	3	WP					X	
Kurzpulslasertechnologie und Starkfeldionisation von Atomen und Molekülen (Short pulse laser technology and strong field ionization of atoms and molecules)	V	2	3	WP				X		X
Summe		4–6	6–9							

VKPHSB	**Photonik und Spektroskopie für BSc-Studierende** (Photonics and Spectroscopy for BSc Students)	Wahlpflicht-modul	6–9 CP (insg.) = 180–270 h		4–6 SWS
			Kontaktstudium 4–6 SWS / 60–90 h	Selbststudium 120–180 h	

Inhalte

abhängig von den gewählten Lehrveranstaltungen:

Nano-Optik und Kohärente Optik: Optische Abbildung im Wellenbild; Abbildung und Fourier-Transformation; nichtkonventionelle linsenfreie Abbildungsmethoden (Nahfeldverfahren, Synthetische Apertur); Holographie; Kohärenz und Korrelation, Eigenschaften von Laserlicht; Tomographie; Kristall-Optik; negativer Brechungsindex; Metamaterialien; Transformationsoptik; “Tarnkappe” aus Metamaterial; Nichtlineare Optik

Laser- und Optoelektronik: Mathematische Beschreibung elektromagnetischer Felder, Fourier-Transformationen, zeitliche und räumliche Wellenausbreitung, Gauß-Strahlen, geometrische Optik, optische Resonatoren, Wellendispersion. Lasergrundlagen: Strahlende Übergänge, spektrale Verbreiterung, Verstärkungssättigung, Dauerstrich- und gepulster Laserbetrieb, Modenkopplung, verschiedene Lasertypen (Gas, Festkörper, Farbstoff), Halbleiterlaser. Nichtlineare Optik: Oberwellenerzeugung, Phasenanpassung, elektrooptische Modulation, Selbstphasenmodulation, Messung optischer Pulse, Detektion optischer Strahlung.

Einführung in die Terahertz-Spektroskopie: Optoelectronic generation and detection of THz pulses, spectroscopic quantities (refractive index, complex dielectric function, optical conductivity) and their extraction from THz transmission measurements, probing the high-frequency conductivity in semiconductors and nano-materials, fundamentals of the physics of charge carriers in semiconductors (effective mass, optical transitions, carrier transport in the band picture, carrier relaxation), optical-pump/THz-probe spectroscopy, Gunn effect; basics of superconductivity, high-frequency conductivity of superconductors, Cooperpair breaking and reformation, Rothwarf-Taylor model; semiconductor quantum-well structures, intra-subband transitions, semiconductor superlattices, Bloch oscillations, THz-emission spectroscopy; non-linear THz spectroscopy, phenomena at high THz fields/intensities for the example of graphene and semiconductors.

Terahertz-Elektronik: Verfahren und Bauelemente der Terahertz Elektronik werden studiert und experimentelle Methoden in der Terahertz Elektronik untersucht. Folgende Themen werden vorgestellt: elektronische Bauelemente bei Terahertz Frequenzen; elektronische Signalerzeugung; elektronische Pulserzeugung: Verfahren und Grenzen; Terahertz-Signaldetektion mit elektronischen Bauelementen; Betriebsparameter; Komponenten und Verfahren der Terahertz-Elektronik in der Kommunikation, Bildgebung und Sensorik; elektronische Terahertz Systeme.

(Bio-)molekulare Dynamik — Messmethoden und Anwendungen von Femtosekunden bis Sekunden: Experimentelle Methoden werden vorgestellt aus den Bereichen: Ultrakurzzeitspektroskopie; nichtlineare Laserspektroskopie; Einzelmolekülspektroskopie; Einzelmolekülmikroskopie; Kraftmikroskopie; Optische Pinzetten; zeitaufgelöste NMR-Spektroskopie; Massenspektrometrie; zeitaufgelöste Röntgenbeugung, Kristallographie und Elektronenbeugung. Der Informationsgehalt der verschiedenen Experimente wird anhand wichtiger Beispiele erläutert. Diese umfassen unter anderem: Protonentransfer; Bruch und Bildung chemischer Bindungen; Katalysatoren; Bildung transienter Strukturen in Flüssigkeiten; Energietransfer in Molekülen; Proteinfaltung; Enzymfunktion; Photorezeptoren; Molekulare Motoren; Photosynthese.

Die Studierenden müssen mindestens zwei und können maximal drei Lehrveranstaltungen absolvieren. Dabei kann frei aus den verfügbaren Lehrveranstaltungen ausgewählt werden.

Lernergebnisse/Kompetenzziele

Dieses Modul bereitet Studierende auf ein Forschungsprojekt im Bereich der Photonik und Spektroskopie mit kohärenter Strahlung vor, das den Spektralbereich von Mikrowelle bis Ultraviolett abdeckt.

- Die Studierenden lernen, die Möglichkeiten und Grenzen herkömmlicher Methoden zur Erzeugung, Detektion und spektroskopischen Verwendung von Strahlung zu verstehen und wie moderne Techniken neue Potenziale für Forschung und Anwendungen eröffnen.
- Die Studierenden lernen, sowohl den Einsatz von Hochfrequenz-Elektronikbauteilen als auch quantenmechanische Mechanismen der Licht-Materie-Interaktion zu beschreiben und zu quantifizieren, einschließlich Aspekten der erreichbaren zeitlichen, spektralen und räumlichen Auflösung.
- Je nach Wahl der Lernveranstaltungen vertiefen die Studierenden ihre Kenntnisse in der Dynamik von Festkörpermaterialien (einschließlich nanoskaliger Bauelemente), chemischen und/oder biologischen Systemen.
- Ein besonderer Schwerpunkt liegt auf der Realisierung von Versuchsgeräten, Diagnosegeräten und modernsten technologischen Geräten.

Teilnahmevoraussetzungen für Modul bzw. einzelne Veranstaltungen des Moduls

keine

Empfohlene Vorkenntnisse

abhängig von den gewählten Lehrveranstaltungen:

Nano-Optik und Kohärente Optik: Grundlagenwissen aus den Veranstaltungen *Experimentalphysik 1, 2, und 3a)* sowie aus dem Physikalischen Anfängerpraktikum 1.

Laser- und Optoelektronik: Inhalt der Module *Experimentalphysik 1–4*, *Theoretische Physik 1–4*, *Anfängerpraktikum 1–2*

Einführung in die Terahertz-Spektroskopie: Basic physics as taught in the lectures *Experimentalphysik VEX1* to *VEX3* and in the *Anfängerpraktika*. Beyond that, basic knowledge of the band model of electrons in semiconductors, of the concept of phonons in the reciprocal lattice, and of superconductivity, all on the level as taught in the lecture *Experimentalphysik 4b: Festkörper*.
Die gleichzeitige Teilnahme am "Seminar on Terahertz Electronics and Spectroscopy" wird empfohlen.

Terahertz-Elektronik: keine

(Bio-)molekulare Dynamik — Messmethoden und Anwendungen von Femtosekunden bis Sekunden: keine

Zuordnung (Studiengang/Fachbereich)	BSc Physik / FB Physik
Verwendbarkeit	BSc Physik
Zugehörigkeit zu Schwerpunkten	KMQ
Häufigkeit des Angebots	jährlich
Dauer	zweisemestrig
Modulbeauftragte / Modulbeauftragter	Roskos
Studiennachweise / Prüfungsvorleistungen	
Teilnahmenachweise	abhängig von den gewählten Lehrveranstaltungen: *Nano-Optik und Kohärente Optik*: keine *Laser- und Optoelektronik*: keine *Einführung in die Terahertz-Spektroskopie*: keine *Terahertz-Elektronik*: keine

Leistungsnachweise	*(Bio-)molekulare Dynamik — Messmethoden und Anwendungen von Femtosekunden bis Sekunden*: keine abhängig von den gewählten Lehrveranstaltungen: *Nano-Optik und Kohärente Optik*: Präsentation oder schriftlich zu beantwortende Quizfragen (Übungsaufgaben) oder Fachgespräch (ca. 30 Min.) *Laser- und Optoelektronik*: Präsentation oder schriftlich zu beantwortende Quizfragen (Übungsaufgaben) oder Fachgespräch (ca. 30 Min.) *Einführung in die Terahertz-Spektroskopie*: Präsentation oder schriftlich zu beantwortende Quizfragen (Übungsaufgaben) oder Fachgespräch (ca. 30 Min.) *Terahertz-Elektronik*: Präsentation einer eigenständigen Untersuchung im Rahmen eines Miniprojekts *(Bio-)molekulare Dynamik — Messmethoden und Anwendungen von Femtosekunden bis Sekunden*: Fachgespräch (ca. 30 Min.) oder Test
Prüfungsvorleistungen	Erbringen aller Leistungsnachweise in der Lehrveranstaltung, zu der die lehrveranstaltungsbezogene Modulprüfung stattfinden soll
Lehr- / Lernformen	Vorlesungen
Unterrichts- / Prüfungssprache	Deutsch und/oder Englisch je nach den gewählten Lehrveranstaltungen
Modulprüfung	
Modulabschlussprüfung, benotet	Die Modulprüfung zu diesem Modul erfolgt lehrveranstaltungsbezogen: In einer Lehrveranstaltung des Moduls nach Wahl der oder des Studierenden werden sowohl die konkreten Inhalte der jeweiligen Lehrveranstaltung als auch die übergeordneten Lernziele des Moduls abgeprüft. Alle anderen von der oder dem Studierenden in diesem Modul absolvierten Lehrveranstaltungen werden mit den oben aufgeführten Leistungsnachweisen abgeschlossen.
bestehend aus:	mündliche Prüfung (ca. 30 Min.) oder Klausur (90 Min.)

Lehrveranstaltungen des Moduls	LV-Form	SWS	CP	Pf/WP	Semester					
					1	2	3	4	5	6
Nano-Optik und Kohärente Optik (Nano and Coherent Optics)	V	2	3	WP				X		X
Laser- und Optoelektronik (Laser and Optoelectronics)	V	2	3	WP					X	
Einführung in die Terahertz-Spektroskopie (Introduction to Terahertz Spectroscopy)	V	2	3	WP						X
Terahertz-Elektronik (Terahertz Electronics)	V+S	1+1	3	WP				X		X
(Bio-)molekulare Dynamik — Messmethoden und Anwendungen von Femtosekunden bis Sekunden ((Bio-)molecular Dynamics — Measuring Methods and Applications from Femtoseconds to Seconds)	V	2	3	WP		X		X		X
Summe		4–6	6–9							

3.6 Beschleuniger-, Plasma- und angewandte Physik

VVAK	**Vakuumphysik** (Vacuum Physics)	Wahlpflicht-modul	8 CP (insg.) = 240 h		6 SWS
			Kontaktstudium 6 SWS / 90 h	Selbststudium 150 h	

Inhalte

Vakuumphysik I: Kinetic theory of gases (pressure, velocity distribution, mean free path). Gas flow types: molecular, laminar and turbulent regimes. Compressible flow. Flow resistance (conductance), connection of resistances. Pumping speed. Choked flow. Transitional flow. Evaporation condensation. Pumping processes. Physics of vacuum pumps: Positive Displacement Pumps (liquid ring, rotary, roots). Multistage Pumps. Example of Pump down with Leak. Kinetic pumps (Molecular drag, Turbo Molecular, Diffusion Pump). Capture Pumps (Getter Pump + Example, Sputter-ion pump, Cryo-pump). Gauges: Short introductory to statistics of measurements (error-bars, Chi squared test), Liquid manometers (McLeod), Piston gauge, Capacitance Gauge.

Vakuumphysik II: Introduction of Kinetic theory of gases: Pressure and Temperature. Viscosity Gauges: Kinematic model of viscosity, Momentum transport, Effect of Boundary. Spinning Rotor Gauge. Thermal conductivity Gauges: Kinetic model of heat conductivity in gases, Effect of Boundary. Heat flux in a cylinder. Energy loss mechanisms (by radiation, by conduction, by gas transport). Pirani Gauge. Ionization Gauges: Hot Cathode Gauge, Bayard- Alpert Gauge. Cold Cathode Gauge: Penning Gauge. Inverted Magnetron Gauge. Partial Pressure Analysis: Quadrupole Mass Spectrometer, Magnetic Sector Analyzer, Time of Flight Mass Analyzer, Trochoidal Mass Analyzer, Omegatron. Leak Detection. Gas-Surface interactions and Diffusion: Adsorption, Absorption, Outgassing. Pressure Profile: equation of pressure evolution (x,t) and application to Accelerators. Beam collimation and Vacuum pressure. Vacuum instability.

Lernergebnisse/Kompetenzziele

Die Studierenden sind vertraut mit Berechnungsmethoden und Konzepten zur Auslegung von Vakuumkammern sowie zur Ausstattung mit Vakuumpumpen und Messgeräten. Die Studierenden sind nach Absolvieren dieses Moduls vorbereitet für diejenigen Bachelor- und Masterarbeiten in der experimentellen Physik, die mit Vakuumserzeugung verknüpft sind.
Methoden zur Analyse der Restgasverteilung werden vermittelt. Oberflächenprozesse allgemein sowie speziell Strahl-Wand-Wechselwirkungen bei intensiven Teilchenstrahlen werden vorgestellt.
Die Vorlesung ist für alle Themengebiete hiflreich, die mit Vakuumserzeugung verknüpft sind und ergänzend zum ertsen Teil. Bei vielen Bachelor- und Masterarbeiten in der experimentellen Physik werden die hier vermittelten Kenntnisse angewandt.

Teilnahmevoraussetzungen für Modul bzw. einzelne Veranstaltungen des Moduls

keine

Empfohlene Vorkenntnisse

Inhalt der Veranstaltungen *Experimentalphysik 1–2*, *Theoretische Physik 1–2*

Zuordnung (Studiengang/Fachbereich)	BSc Physik, MSc Physik / FB Physik
Verwendbarkeit	BSc Physik, MSc Physik
Zugehörigkeit zu Schwerpunkten	BEP
Häufigkeit des Angebots	jährlich
Dauer	zweisemestrig
Modulbeauftragte / Modulbeauftragter	Ratzinger

Studiennachweise / Prüfungsvorleistungen	
Teilnahmenachweise	regelmäßige Teilnahme an den Übungen
Leistungsnachweise	erfolgreiche Bearbeitung von in der Regel wöchentlichen Übungsaufgaben
Prüfungsvorleistungen	Erbringen aller Leistungsnachweise
Lehr- / Lernformen	Vorlesungen, Übungen
Unterrichts- / Prüfungssprache	Deutsch
Modulprüfung	
Modulabschlussprüfung, benotet	
bestehend aus:	mündliche Prüfung (ca. 30 Min.) oder Klausur (90 Min.)

Lehrveranstaltungen des Moduls	LV-Form	SWS	CP	Pf/WP	Semester					
					1	2	3	4	5	6
Vakuumphysik I (Vacuum Physics I)	V+Ü	2+1	4	Pf				X		
Vakuumphysik II (Vacuum Physics II)	V+Ü	2+1	4	Pf					X	
Summe		6	8							

VKBEP	Beschleunigerphysik (Accelerator Physics)	Wahlpflicht-modul	8–12 CP (insg.) = 240–360 h		6–9 SWS
			Kontaktstudium 6–9 SWS / 90–135 h	Selbststudium 150–225 h	

Inhalte

abhängig von den gewählten Lehrveranstaltungen:

Einführung in die Beschleunigerphysik: Beschleunigungsmechanismen, Linear- und Kreisbeschleuniger, Strahlerzeugung, Fokussierung, elektrostatische und hochfrequente Strukturen, HF-Erzeugung, Beschleunigeranwendungen

Linearbeschleuniger: Elektronen- und Ionenquellen, Separationstechniken, Strahltransportelemente, Überblick über vielzellige Resonatoren, hochfrequenzphysikalische Grundlagen, Strahllast, Liouvillescher Satz, Vlasov- und Fokker-Planck-Gleichungen, raumladungsdominierte Strahlen, Raumladungskompensation, Anwendungen

Ringbeschleuniger und Speicherringe: Kreisbeschleunigerkomponenten, Emittanz, Alternierende Gradienten Fokussierung, Strahltransport intensiver Strahlen, Strahlstabilität, Strahlkühlung, HF-Systeme, Ring-Strahldynamik (transversal, longitudinal), selbstkonsistente Teilchenverteilungen

Die Studierenden müssen mindestens zwei und können maximal drei Lehrveranstaltungen absolvieren. Dabei kann frei aus den verfügbaren Lehrveranstaltungen ausgewählt werden.

Lernergebnisse/Kompetenzziele

Dieses Modul bereitet die Studierenden auf eine Abschlussarbeit im Bereich Beschleinigerphysik vor. Nach Absolvieren des Moduls sind die Studierenden in dem von ihnen gewählten Vertiefungsbereich in der Lage, sich selbstständig in die aktuelle Forschung einzuarbeiten bzw. direkt zu ihr beizutragen:

- Die Studierenden kennen alle wesentlichen Konzepte und Fachbegriffe und verstehen deren inhaltliche Zusammenhänge.
- Die Studierenden können forschungsnahe Problemstellungen thematisch einordnen und mit den vermittelten Methoden analysieren.
- Die Studierenden können weiterführende Informationen zu einer gegebenen Fragestellung in Fachliteratur und Internet recherchieren.
- Die Studierenden können aktuelle wissenschaftliche Publikationen verstehen und wiedergeben.
- Die Studierenden besitzen das experimentelle oder theoretische Rüstzeug, um eine gegebene wissenschaftliche Fragestellung selbst quantitativ zu untersuchen und zu beantworten.

Teilnahmevoraussetzungen für Modul bzw. einzelne Veranstaltungen des Moduls

keine

Empfohlene Vorkenntnisse

abhängig von den gewählten Lehrveranstaltungen:

Einführung in die Beschleunigerphysik: Inhalt der Veranstaltungen *Experimentalphysik 1–3*, *Theoretische Physik 1–3*, *Atomphysik 1*, *Anfängerpraktikum 1–2*

Linearbeschleuniger: Inhalt der Veranstaltungen *Experimentalphysik 1–4*, *Theoretische Physik 1–3*

Ringbeschleuniger und Speicherringe: Inhalt der Veranstaltungen *Experimentalphysik 1–3*, *Theoretische Physik 1–3*, *Anfängerpraktikum 1–2*

Zuordnung (Studiengang/Fachbereich)	BSc Physik, MSc Physik / FB Physik
Verwendbarkeit	BSc Physik, MSc Physik
Zugehörigkeit zu Schwerpunkten	BEP
Häufigkeit des Angebots	jährlich
Dauer	zweisemestrig
Modulbeauftragte / Modulbeauftragter	Ratzinger
Studiennachweise / Prüfungsvorleistungen	
Teilnahmenachweise	regelmäßige Teilnahme an den Übungen im Fall aller Lehrveranstaltungen
Leistungsnachweise	erfolgreiche Bearbeitung von in der Regel wöchentlichen Übungsaufgaben im Fall aller Lehrveranstaltungen
Prüfungsvorleistungen	Erbringen aller Leistungsnachweise in der Lehrveranstaltung, zu der die lehrveranstaltungsbezogene Modulprüfung stattfinden soll
Lehr- / Lernformen	Vorlesungen, Übungen
Unterrichts- / Prüfungssprache	Deutsch
Modulprüfung	
Modulabschlussprüfung, benotet	Die Modulprüfung zu diesem Modul erfolgt lehrveranstaltungsbezogen: In einer Lehrveranstaltung des Moduls nach Wahl der oder des Studierenden werden sowohl die konkreten Inhalte der jeweiligen Lehrveranstaltung als auch die übergeordneten Lernziele des Moduls abgeprüft. Alle anderen von der oder dem Studierenden in diesem Modul absolvierten Lehrveranstaltungen werden mit den oben aufgeführten Leistungsnachweisen abgeschlossen.
bestehend aus:	mündliche Prüfung (ca. 30 Min.) oder Klausur (90 Min.)

Lehrveranstaltungen des Moduls	LV-Form	SWS	CP	Pf/WP	Semester					
					1	2	3	4	5	6
Einführung in die Beschleunigerphysik (Introduction to accelerator physics)	V+Ü	2+1	4	WP				X		X
Linearbeschleuniger (Linear Accelerators)	V+Ü	2+1	4	WP						X
Ringbeschleuniger und Speicherringe (Synchrotrons and Storage Rings)	V+Ü	2+1	4	WP				X		X
Summe		6–9	8–12							

VKBEK	**Beschleunigerkonzepte** (Accelerator Design)	Wahlpflicht-modul	6–9 CP (insg.) = 180–270 h		4–6 SWS
			Kontaktstudium 4–6 SWS / 60–90 h	Selbststudium 120–180 h	

Inhalte

abhängig von den gewählten Lehrveranstaltungen:

Supraleitung in der Beschleuniger- und Fusionstechnologie: Grundlagen und Phänomene der Supraleitung, wichtigste Verbindungen, Leiterherstellung, Spulenaufbau, Magnete, Hochfrequenzsupraleitung, supraleitende Resonatoren, Herstellung und Oberflächenpräparation, Tuning, Ankopplung, Messverfahren, aktuelle Forschungsprojekte

Laseranwendungen in der Beschleunigerphysik: The lecture focuses on laser applications in particle accelerators. The contents of the lecture are: Introduction to lasers with a focus on high power lasers in the TW and PW range; Laser-plasma interactions and laser-matter interactions with the special application "laser ion source"; Different methods of particle acceleration with high power lasers such as TNSA (Target Normal Sheath Acceleration), LWFA (Laser Wakefield Acceleration), and Dielectric Laser Accelerators with an overview of current research activities; The potential of laser driven accelerator concepts for the design of future research facilities and the applications of laser-accelerated beams; Beam matching of laser-accelerated beams to conventional linac structures and laser based beam diagnostics;
Other topics of this lecture are free electron lasers (FELs) and their applications. Important mechanisms in FELs like undulators, self-amplified spontaneous emission, micro-bunching and seeding will be explained.

Beschleuniger Strahlinstrumentierung und Diagnose: Es werden folgende Themen behandelt: Aufgaben der Strahldiagnostik an Beschleunigern, Messgeräte zur Strahlstrom-Messung, Verfahren der transversalen Profilmessung, Methoden der Emittanzbestimmung, Physik und Technik der Beam Position Monitore, Messung longitudinaler Strahlparameter, Strahlverlust-Detektion. Die Herleitung der Funktionsprinzipien der Instrumente wird ausführlich behandelt. Weiterhin liegt ein Schwerpunkt auf der Durchführung von Messaufgaben mit praxis-relevanten Methoden als Teil der Übungen, d.h. mess-technischer Demonstrationen der Instrumente mit Oszilloskop, Spektrum- und Netzwerkanalysatoren.

High Intensity Accelerators and their Applications: Das Modul behandelt Hochintensitäts-Beschleuniger. Nach einer allgemeinen Einführung liegt der Schwerpunkt auf hohen Intensitäten und den assoziierten Effekten. Grundlagen der Strahldynamik, transversale und longitudinale Strahldynamik, Raumladungseffekte, spezielle Effekte in raumladungs-dominierten Beschleunigern, Hochstrom-Ionenquellen, HF-Parameter, RFQ-Strukturen, Driftröhrenstrukturen, supraleitende HF-Strukturen, FRANZ-Projekt, MYRRHA-Projekt, IFMIF, FRIB, ESS, FAIR, HBS.

Die Studierenden müssen mindestens zwei und können maximal drei Lehrveranstaltungen absolvieren. Dabei kann frei aus den verfügbaren Lehrveranstaltungen ausgewählt werden.

Lernergebnisse/Kompetenzziele

Dieses Modul bereitet die Studierenden auf eine Abschlussarbeit im Bereich Beschleinigerphysik vor. Nach Absolvieren des Moduls sind die Studierenden in dem von ihnen gewählten Vertiefungsbereich in der Lage, sich selbstständig in die aktuelle Forschung einzuarbeiten bzw. direkt zu ihr beizutragen:

- Die Studierenden kennen alle wesentlichen Konzepte und Fachbegriffe und verstehen deren inhaltliche Zusammenhänge.
- Die Studierenden können forschungsnahe Problemstellungen thematisch einordnen und mit den vermittelten Methoden analysieren.
- Die Studierenden können weiterführende Informationen zu einer gegebenen Fragestellung in Fachliteratur und Internet recherchieren.
- Die Studierenden können aktuelle wissenschaftliche Publikationen verstehen und wiedergeben.
- Die Studierenden besitzen das experimentelle oder theoretische Rüstzeug, um eine gegebene wissenschaftliche Fragestellung selbst quantitativ zu untersuchen und zu beantworten.

Teilnahmevoraussetzungen für Modul bzw. einzelne Veranstaltungen des Moduls

keine

Empfohlene Vorkenntnisse

abhängig von den gewählten Lehrveranstaltungen:

Supraleitung in der Beschleuniger- und Fusionstechnologie: Inhalt der Veranstaltungen *Experimentalphysik 1–4*, *Theoretische Physik 1–3*, *Anfängerpraktikum 1–2*

Laseranwendungen in der Beschleunigerphysik: Inhalt der Module VEX3 und VTH3 sowie der Lehrveranstaltung *Einführung in die Beschleunigerphysik*

Beschleuniger Strahlinstrumentierung und Diagnose: Inhalt der Veranstaltungen *Experimentalphysik 1–4*, Anfängerpraktikum, Einführung in die Beschleunigerphysik (oder äquivalentes Wissen)

High Intensity Accelerators and their Applications: Inhalt der Lehrveranstaltungen *Anfängerpraktikum 1+2* und *Experimentalphysik 1–4*

Zuordnung (Studiengang/Fachbereich)	BSc Physik, MSc Physik / FB Physik
Verwendbarkeit	BSc Physik, MSc Physik
Zugehörigkeit zu Schwerpunkten	BEP
Häufigkeit des Angebots	jährlich
Dauer	zweisemestrig
Modulbeauftragte / Modulbeauftragter	Podlech
Studiennachweise / Prüfungsvorleistungen	
Teilnahmenachweise	abhängig von den gewählten Lehrveranstaltungen: *Supraleitung in der Beschleuniger- und Fusionstechnologie*: regelmäßige Teilnahme an den Übungen *Laseranwendungen in der Beschleunigerphysik*: regelmäßige Teilnahme an den Übungen *Beschleuniger Strahlinstrumentierung und Diagnose*: keine *High Intensity Accelerators and their Applications*:

Leistungsnachweise	abhängig von den gewählten Lehrveranstaltungen: *Supraleitung in der Beschleuniger- und Fusionstechnologie*: Fachgespräch (ca. 30 Min.) oder Test *Laseranwendungen in der Beschleunigerphysik*: Fachgespräch (ca. 30 Min.) oder Test *Beschleuniger Strahlinstrumentierung und Diagnose*: Fachgespräch (ca. 30 Min.) oder Test *High Intensity Accelerators and their Applications*: Fachgespräch (ca. 30 Min.) oder Test
Prüfungsvorleistungen	Erbringen aller Leistungsnachweise in der Lehrveranstaltung, zu der die lehrveranstaltungsbezogene Modulprüfung stattfinden soll
Lehr- / Lernformen	Vorlesungen
Unterrichts- / Prüfungssprache	Deutsch
Modulprüfung	
Modulabschlussprüfung, benotet	Die Modulprüfung zu diesem Modul erfolgt lehrveranstaltungsbezogen: In einer Lehrveranstaltung des Moduls nach Wahl der oder des Studierenden werden sowohl die konkreten Inhalte der jeweiligen Lehrveranstaltung als auch die übergeordneten Lernziele des Moduls abgeprüft. Alle anderen von der oder dem Studierenden in diesem Modul absolvierten Lehrveranstaltungen werden mit den oben aufgeführten Leistungsnachweisen abgeschlossen.
bestehend aus:	mündliche Prüfung (ca. 30 Min.) oder Klausur (90 Min.)

Lehrveranstaltungen des Moduls	LV-Form	SWS	CP	Pf/WP	Semester					
					1	2	3	4	5	6
Supraleitung in der Beschleuniger- und Fusionstechnologie (Superconductivity in accelerator and fusion technology)	V	2	3	WP						X
Laseranwendungen in der Beschleunigerphysik (Laser Applications in Accelerator Physics)	V	2	3	WP					X	
Beschleuniger Strahlinstrumentierung und Diagnose (Accelerator beam instrumentation and diagnostics)	V	2	3	WP			X		X	
High Intensity Accelerators and their Applications	V	2	3	WP					X	X
Summe		4–6	6–9							

VKPLAB	**Spezielle Themen der Plasmaphysik für BSc-Studierende** (Special Topics in Plasma Physics for BSc Students)	Wahlpflicht-modul	8–12 CP (insg.) = 240–360 h		6–9 SWS
			Kontaktstudium 6–9 SWS / 90–135 h	Selbststudium 150–225 h	

Inhalte

abhängig von den gewählten Lehrveranstaltungen:

Plasmaphysik: Plasmen im Universum und Labor, grundlegende Plasmaparameter, Plasmadichte und -temperatur, Ionisationsgrad, Plasmaerzeugung mit Hilfe von Entladungen, Ionen-oder Laserstrahlen, Einteilchenbewegung, Gyrationsradius, Driftbewegungen, magnetische Spiegel, Townsend-Koeffizienten einer Entladung, Paschenkurve, Debye-Länge, Plasmafrequenz, Landau-Länge, Gamma-Parameter, lokales und partielles thermodynamisches Gleichgewicht, Boltzmann-Verteilung, Saha-Gleichung, weltweiter Energiebedarf, Umweltaspekte der Energieerzeugung, Brennstoffvorrat, Fusion in der Sonne, magnetischer Einschluss, Trägheitseinschluss, Bindungsenergie von Atomkernen, Schwellenenergie und Energiefreisetzung verschiedener Fusionsreaktionen, Fusionswirkungsquerschnitte und Reaktionsrate, Energiebilanz eines Fusionsplasmas, Lawson- und rho*r-Kriterium für Fusion, Kompression und Energiegewinn, magnetische und hydrodynamische Instabilitäten, Anforderungen an Reaktorkonzepte.

Physik und Anwendungen der Hochspannungstechnik: Aufgaben und Anwendungen der Hochspannungstechnik, Perspektiven der Hochspannungstechnik, Wechsel- und Drehstromtechnik, Energieübertragung, Grundlagen elektrischer Felder, technische Beanspruchungen, statische, stationäre und quasistationäre Felder in homogenen Dielektrika, Gasentladungskennlinien, raumladungsfreie Entladung im homogenen Feld (nach Townsend und Paschen), raumladungsbeschwerte Entladung, Kanalentladung (Streamer-Mechanismus), Entladeverzug, Stoßkennlinien und Hochfrequenzdurchschlag, Entladungen im inhomogenen Feld, Oberflächenentladungen, Funken-, Bogen- und Blitzentladung, Entladungen in flüssigen und festen Dielektrika, Entladungen in festen Stoffen, Teilentladungen (TE), Vakuumdurchschlag, Isolierstoffe, Typische Isoliersysteme für Gleich-, Wechsel-, und Impulsspannungen, Prüfen, Messen, Diagnose, Hochspannungsprüfungen, Überspannungsableiter, Erzeugung hoher Spannungen, weitere Anwendungen, Blitzschutz, Sicherstellung der EMV, Hochleistungsimpulstechnik.

Plasmen hoher Energiedichte und Röntgenstrahlung im Universum und Labor: Grundlagen Plasmaphysik, hydrodynamische Gleichungen, Erzeugung und Eigenschaften von Plasmen hoher Energiedichte, Anwendung in Planetenmodellen, Erzeugung im Labor (Schockwellen, Röntgen- und Teilchenstrahlen), Lasererzeugte Plasmen, Hochenergielaser, Inertialfusion

Plasmen hoher Energiedichte und Röntgenstrahlung im Universum und Labor II: Strahlungsmechanismen, Diagnostiken, technische und astrophysikalische Anwendungen. Verschiedene Strahlungsmechanismen. Elementare Prozesse in Plasma. Röntgen-Spektren aus Plasmen - Informationsquelle über Plasmeneigenschaften. Methoden und Techniken von Röntgendiagnostiken. Anwendungen für Lasererzeugten Plasmen.

Die Studierenden müssen mindestens zwei und können maximal drei Lehrveranstaltungen absolvieren. Dabei kann frei aus den verfügbaren Lehrveranstaltungen ausgewählt werden.

Lernergebnisse/Kompetenzziele

Dieses Modul bereitet die Studierenden auf eine Abschlussarbeit im Bereich Plasmaphysik vor. Nach Absolvieren des Moduls sind die Studierenden in dem von ihnen gewählten Vertiefungsbereich in der Lage, sich selbstständig in die aktuelle Forschung einzuarbeiten bzw. direkt zu ihr beizutragen:

- Die Studierenden kennen alle wesentlichen Konzepte und Fachbegriffe und verstehen deren inhaltliche Zusammenhänge.
- Die Studierenden können forschungsnahe Problemstellungen thematisch einordnen und mit den vermittelten Methoden analysieren.
- Die Studierenden können weiterführende Informationen zu einer gegebenen Fragestellung in Fachliteratur und Internet recherchieren.
- Die Studierenden können aktuelle wissenschaftliche Publikationen verstehen und wiedergeben.
- Die Studierenden besitzen das experimentelle oder theoretische Rüstzeug, um eine gegebene wissenschaftliche Fragestellung selbst quantitativ zu untersuchen und zu beantworten.

Teilnahmevoraussetzungen für Modul bzw. einzelne Veranstaltungen des Moduls

keine

Empfohlene Vorkenntnisse

abhängig von den gewählten Lehrveranstaltungen:

Plasmaphysik: Inhalt der Veranstaltungen *Experimentalphysik 1–3*, *Theoretische Physik 1–2*, *Anfängerpraktikum 1–2*

Physik und Anwendungen der Hochspannungstechnik: Inhalt der Veranstaltungen *Experimentalphysik 1–3*, *Theoretische Physik 1–2* und *Anfängerpraktikum 1–2*

Plasmen hoher Energiedichte und Röntgenstrahlung im Universum und Labor: Inhalt der Veranstaltungen *Experimentalphysik 1–3*, Grundlagen der Atomphysik

Plasmen hoher Energiedichte und Röntgenstrahlung im Universum und Labor II: Inhalt der Veranstaltungen *Experimentalphysik 1–3*, Grundlagen der Atomphysik

Zuordnung (Studiengang/Fachbereich)	BSc Physik / FB Physik
Verwendbarkeit	BSc Physik
Zugehörigkeit zu Schwerpunkten	BEP
Häufigkeit des Angebots	jährlich
Dauer	zweisemestrig
Modulbeauftragte / Modulbeauftragter	Jacoby
Studiennachweise / Prüfungsvorleistungen	
Teilnahmenachweise	abhängig von den gewählten Lehrveranstaltungen: *Plasmaphysik*: regelmäßige Teilnahme an den Übungen *Physik und Anwendungen der Hochspannungstechnik*: regelmäßige Teilnahme an den Übungen *Plasmen hoher Energiedichte und Röntgenstrahlung im Universum und Labor*: regelmäßige Teilnahme an den Übungen

	Plasmen hoher Energiedichte und Röntgenstrahlung im Universum und Labor II: regelmäßige Teilnahme an den Übungen
Leistungsnachweise	abhängig von den gewählten Lehrveranstaltungen: *Plasmaphysik*: erfolgreiche Bearbeitung von in der Regel wöchentlichen Übungsaufgaben sowie Vortrag über ein ausgegebenes Thema *Physik und Anwendungen der Hochspannungstechnik*: erfolgreiche Bearbeitung von in der Regel wöchentlichen Übungsaufgaben sowie Vortrag über ein ausgegebenes Thema *Plasmen hoher Energiedichte und Röntgenstrahlung im Universum und Labor*: erfolgreiche Bearbeitung von in der Regel wöchentlichen Übungsaufgaben sowie Vortrag über ein ausgegebenes Thema *Plasmen hoher Energiedichte und Röntgenstrahlung im Universum und Labor II*: erfolgreiche Bearbeitung von in der Regel wöchentlichen Übungsaufgaben sowie Vortrag über ein ausgegebenes Thema
Prüfungsvorleistungen	Erbringen aller Leistungsnachweise in der Lehrveranstaltung, zu der die lehrveranstaltungsbezogene Modulprüfung stattfinden soll
Lehr- / Lernformen	Vorlesungen, Übungen
Unterrichts- / Prüfungssprache	Deutsch
Modulprüfung	
Modulabschlussprüfung, benotet	Die Modulprüfung zu diesem Modul erfolgt lehrveranstaltungsbezogen: In einer Lehrveranstaltung des Moduls nach Wahl der oder des Studierenden werden sowohl die konkreten Inhalte der jeweiligen Lehrveranstaltung als auch die übergeordneten Lernziele des Moduls abgeprüft. Alle anderen von der oder dem Studierenden in diesem Modul absolvierten Lehrveranstaltungen werden mit den oben aufgeführten Leistungsnachweisen abgeschlossen.
bestehend aus:	mündliche Prüfung (ca. 30 Min.) oder Klausur (90 Min.)

Lehrveranstaltungen des Moduls	LV-Form	SWS	CP	Pf/WP	Semester					
					1	2	3	4	5	6
Plasmaphysik (Plasma Physics)	V+Ü	2+1	4	WP				X		X
Physik und Anwendungen der Hochspannungstechnik (Physics and Applications of High Voltage Technology)	V+Ü	2+1	4	WP						X
Plasmen hoher Energiedichte und Röntgenstrahlung im Universum und Labor (High Energy Density Plasmas: X-rays in the Universe and Laboratory I)	V+Ü	2+1	4	WP					X	
Plasmen hoher Energiedichte und Röntgenstrahlung im Universum und Labor II (High Energy Density Plasmas: X-rays in the Universe and Laboratory II)	V+Ü	2+1	4	WP						X
Summe		6–9	8–12							

VKTECB	**Spezielle Themen der angewandten und technischen Physik für BSc-Studierende**	Wahlpflicht-modul	6–12 CP (insg.) = 180–360 h		4–9 SWS
	(Special Topics in Applied and Technical Physics for BSc Students)		Kontaktstudium 4–9 SWS / 60–135 h	Selbststudium 120–225 h	

Inhalte

abhängig von den gewählten Lehrveranstaltungen:

Grundlagen der computergestützten Signalverarbeitung: Einführung Signal- und Systemtheorie, Signalverarbeitungsmethoden im Zeitbereich, Frequenzbereich und Zeitfrequenzbereich (z.B. Waveletanalyse), statistische Signalverarbeitung, Mustererkennung

Elektronik und Sensorik I: Die Vorlesung *Elektronik und Sensorik I* bietet eine umfassende Einführung in die Grundlagen der Analog-Elektronik. Dabei werden die wichtigsten elektronischen Bauelemente und ihre Grundschaltungen behandelt. Einige Themenschwerpunkte sind: Passive Netzwerke, Grundlagen der Halbleiterdiode, Feldeffekt- und Bipolarer Transistor, Dioden- und Transistorschaltungen, Operationsverstärker, Schaltungssimulation.

Complex Renewable Energy Networks: Physics of renewable energy generation (including weather-dependent modeling); stochastic modeling; physics of general complex networks; system design; power transmission; storage; physics of coupled networks; the role of energy in society.

Physik der Energiegewinnung: Sozioökonomische Zusammenhänge hinsichtlich Energieverbrauch, Wirtschaftsleistung usw., historische Entwicklung des Energieverbrauchs, Energie als physikalische Größe, Energieerntefaktor, fossile Energieträger (Entstehung, Vorkommen, Abbau), Treibhauseffekt, Kreisprozesse und Wärmekraftmaschinen (Motoren, Turbinen), Kraft-Wärme-Kopplung, Regenerative Energieformen (Photovoltaik, Photothermik, Wind, Wasser, Biomasse, Geothermik), Kernspaltung (Grundlagen, Reaktortypen, Neutronenbilanz, Aufarbeitung), Transmutation, Fusion, Risikobegriff, Speicherung von Energie, Transport von Energie

Energietechnik: Stationäre/instationäre Systeme, Euler-Lagrange-Transformation, Primär- und Sekundärenergieträger, Bilanzräume, techn. und chemische Thermodynamik, technische Kreisprozesse, Wärmepumpen und Kältemaschinen, Tieftemperaturprozesse, Elektrolyse und Brennstoffzellen, Transportvorgänge, Extremalprinzipien, Überschallströmungen, Energiespeicher, Brennstoffe, Pi - Theorem und Ähnlichkeit, Optimierung technischer Systeme.

Überwachte und selbst-überwachte Maschinenlernverfahren und ihre Anwendung in Mustererkennung, KI und Sprachverarbeitung: Einführung in die grundlegenden Fragestellungen beim maschinellen Lernen, Modellwahl, -anpassung und -validierung, lineare Klassifikationsmethoden, nicht-parametrische Techniken (k-nächste Nachbarn), Bayes-Methoden und statistisches Schließen, naive Bayes-Klassifikation und Erweiterungen, Entscheidungsbäume, Ensemble-Lerner (Bagging und Boosting), (randomisierte) Entscheidungswälder, (viellagige) neuronale Netze (Faltungsnetze, rekurrente Netze, Transformer-Modelle) und deren Einsatz in der Praxis

Unüberwachte Maschinenlernverfahren und ihr Einsatz in Datenanalyse und Signal-/Sprachverarbeitung: Dimensionalitätsreduktion: Hauptkomponenten-Analyse/PCA, Kernel-PCA, Lernen von Mannigfaltigkeiten: (lokale) MDS, Isomap, LLE, Laplace-Eigenkarten, t-SNE, UMAP, Visualisierung hochdimensionaler Daten, neuronale Autoencoder und GANs, Independent-Component-Analysis und blinde Signaltrennung, Cluster-Verfahren, Wort-Einbettungen und neuronale Sprachmodelle; Flankierende Grundlagenthemen: (algorithmische) Informationstheorie, Ähnlichkeitsmetriken, Graphentheorie

Bestärkendes Lernen und sein Einsatz in Spielen, Simulation und Robotik: Einführung in Reinforcement-Learning und Software-Agenten, das mehrarmige Banditen-Problem als einfaches Einstiegs-Problem, RL-Verfahren: Adaptiv-Dynamische-Programmierung, Monte-Carlo- und Zeitdifferenz-Verfahren, SARSA, Q-Lernen, N-Schritt-Bootstrapping, Planen im Rahmen von RL, Gütefunktions-Approximation für kontinuierliche Zustandsräume und Strategie-Optimierung, Strategie-Gradienten-Verfahren (Policy-Gradient), Monte-Carlo-Suche in Bäumen und RL für Strategie- und Computerspiele

Digitale Elektronik I: In der Vorlesung *Digitale Elektronik I* werden zunächst die für das Digitalelektronikpraktikum benötigten Kenntnisse vorbereitet, so werden z.B. die boolsche Algebra, digitale Bauelemente, Zustandsautomaten, und die einzelnen Logikfamilien eingeführt. Hierbei wird Wert auf die praxisnahe Gestaltung der Vorlesung gelegt.

Musterklassifikation und Signalschätzung: Musterklassifikation mit Support-Vector-Machines, Musterklassifikation basierend auf Topologischen Merkmalskarten, mehrschichtigen Perzeptrons und Radial-Basis-Funktionen; Theoretische Grundlagen statistischer Musterklassifikation, Klassifikation dynamischer Muster mit Hidden-Markov-Modellen.

Sprachakustik und Sprachsignalverarbeitung: Akustische und artikulatorische Grundlagen der Sprachproduktion; phonetische Konzepte; Modellbeschreibungen der Spracherzeugung; Anwendungen der Sprachverarbeitung: Sprachsynthese, Spracherkennung, Sprachkodierung und Störgeräuschsunterdrückung; anwendungsbezogene Konzepte und Verfahren der Systemtheorie und statistischen Signalverarbeitung: Wellendigitalfilter, Lineare Prädiktion, MFCCs, DTW, Hidden Markov Modelle, Dynamische Programmierung, Unit Selection usw.; praxisrelevante Herausforderungen der Sprachtechnologien.

Introduction to Machine and Deep Learning and applications in physics and beyond: The theoretical part of the lecture includes an introduction to the basics of statistics, Bayes-Theorem and discrete as well as continuous probability distributions. From this, the mathematical foundations of (supervised) Machine-Learning algorithms like: Linear Models, Support Vector Machines, Decision trees, Ensemble Methods, The Perceptron and Artificial Neural Networks will be derived. The concept of statistical learning will be introduced. A particular emphasis will be here on the gradient descent and its relation to Newton's method. The theoretical basics of Deep learning and different neural net architectures (Deep fully connected Neural Networks, Convoluted Neural Networks, Recurrent Neural Networks) will be introduced and it will be shown how the relevant equations for the forward and (error) back-propagation within these networks can be derived. An applied lecture part is dedicated to:

- The numerical Implementation and programming of the discussed machine-learning methods with PYTHON and especially Tensor Flow.
- The application of codes to example problems.

Statistik, Wahrscheinlichkeitsverteilungen, Datenverarbeitung, Einführung in PYTHON, Lineare Modelle für Klassifikation und Regression, Entscheidungsbäume, Ensemble Methoden, Support-Vector-Machines, Überfitten, der Fluch der hohen Dimensionalität, Logistische Regression, Künstliche Neuronale Netzte, Tiefe Neuronale Netze, *Convolutional* Neuronale Netze, *Recurrent* Neuronale Netzte, Autoencoder, GANs

Die Studierenden müssen mindestens zwei und können maximal drei Lehrveranstaltungen absolvieren. Dabei kann frei aus den verfügbaren Lehrveranstaltungen ausgewählt werden.

Lernergebnisse/Kompetenzziele

Dieses Modul bereitet die Studierenden auf eine Abschlussarbeit im Bereich angewandte und technische Physik vor. Nach Absolvieren des Moduls sind die Studierenden in dem von ihnen gewählten Vertiefungsbereich in der Lage, sich selbstständig in die aktuelle Forschung einzuarbeiten bzw. direkt zu ihr beizutragen:

- Die Studierenden kennen alle wesentlichen Konzepte und Fachbegriffe und verstehen deren inhaltliche Zusammenhänge.
- Die Studierenden können forschungsnahe Problemstellungen thematisch einordnen und mit den vermittelten Methoden analysieren.
- Die Studierenden können weiterführende Informationen zu einer gegebenen Fragestellung in Fachliteratur und Internet recherchieren.
- Die Studierenden können aktuelle wissenschaftliche Publikationen verstehen und wiedergeben.
- Die Studierenden besitzen das experimentelle oder theoretische Rüstzeug, um eine gegebene wissenschaftliche Fragestellung selbst quantitativ zu untersuchen und zu beantworten.

Teilnahmevoraussetzungen für Modul bzw. einzelne Veranstaltungen des Moduls

keine

Empfohlene Vorkenntnisse

abhängig von den gewählten Lehrveranstaltungen:

Grundlagen der computergestützten Signalverarbeitung: keine

Elektronik und Sensorik I: keine

Complex Renewable Energy Networks: Basic mathematics; courses on Fluid Dynamics and Networks are not required, but useful.

Physik der Energiegewinnung: Inhalt der Veranstaltungen *Experimentalphysik 1–4*, *Anfängerpraktikum 1–2*

Energietechnik: Inhalt der Module VEX1, VEX2, VEX3, VEX4A/B, VTH1, VTH2, VTH3

Überwachte und selbst-überwachte Maschinenlernverfahren und ihre Anwendung in Mustererkennung, KI und Sprachverarbeitung: Differential- und Integralrechnung, Grundkenntnisse der Wahrscheinlichkeitsrechnung/Statistik, Matrizenrechnung

Unüberwachte Maschinenlernverfahren und ihr Einsatz in Datenanalyse und Signal-/Sprachverarbeitung: Differential- und Integralrechnung, Grundkenntnisse der Wahrscheinlichkeitsrechnung/Statistik, Matrizenrechnung, Grundkenntnisse zu neuronalen Netzen

Bestärkendes Lernen und sein Einsatz in Spielen, Simulation und Robotik: Differential- und Integralrechnung, Grundkenntnisse der Wahrscheinlichkeitsrechnung/Statistik, Matrizenrechnung, Grundkenntnisse zu neuronalen Netzen

Digitale Elektronik I: Grundkenntnisse von Halbleiterbauelementen (Diode und Transistor als Schalter)

Musterklassifikation und Signalschätzung: Inhalt der Veranstaltungen *Mathematik für Studierende der Physik 1 - 3*

Sprachakustik und Sprachsignalverarbeitung: Inhalt der Veranstaltungen *Experimentalphysik 1–2*, *Theoretische Physik 1–2*

Introduction to Machine and Deep Learning and applications in physics and beyond: Basic knowledge on differential calculus, statistics and programming (Grundkenntnisse in Statistik, Differentialrechnung und Programmieren)	
Zuordnung (Studiengang/Fachbereich)	BSc Physik / FB Physik
Verwendbarkeit	BSc Physik
Häufigkeit des Angebots	jährlich
Dauer	zweisemestrig
Modulbeauftragte / Modulbeauftragter	Podlech
Studiennachweise / Prüfungsvorleistungen	
Teilnahmenachweise	abhängig von den gewählten Lehrveranstaltungen: *Grundlagen der computergestützten Signalverarbeitung*: regelmäßige Teilnahme an den Übungen *Elektronik und Sensorik I*: regelmäßige Teilnahme an den Übungen *Complex Renewable Energy Networks*: regelmäßige Teilnahme an den Übungen *Physik der Energiegewinnung*: regelmäßige Teilnahme an den Übungen *Energietechnik*: regelmäßige Teilnahme an den Übungen *Überwachte und selbst-überwachte Maschinenlernverfahren und ihre Anwendung in Mustererkennung, KI und Sprachverarbeitung*: regelmäßige Teilnahme an den Übungen *Unüberwachte Maschinenlernverfahren und ihr Einsatz in Datenanalyse und Signal-/Sprachverarbeitung*: regelmäßige Teilnahme an den Übungen *Bestärkendes Lernen und sein Einsatz in Spielen, Simulation und Robotik*: regelmäßige Teilnahme an den Übungen *Digitale Elektronik I*: keine *Musterklassifikation und Signalschätzung*: keine *Sprachakustik und Sprachsignalverarbeitung*: keine *Introduction to Machine and Deep Learning and applications in physics and beyond*: regelmäßige Teilnahme an den Übungen
Leistungsnachweise	abhängig von den gewählten Lehrveranstaltungen: *Grundlagen der computergestützten Signalverarbeitung*: erfolgreiche Bearbeitung von in der Regel wöchentlichen Übungsaufgaben *Elektronik und Sensorik I*: erfolgreiche Bearbeitung von in der Regel wöchentlichen Übungsaufgaben *Complex Renewable Energy Networks*: erfolgreiche Bearbeitung von in der Regel wöchentlichen Übungsaufgaben *Physik der Energiegewinnung*: erfolgreiche Bearbeitung von in der Regel wöchentlichen Übungsaufgaben

	Energietechnik: erfolgreiche Bearbeitung von in der Regel wöchentlichen Übungsaufgaben *Überwachte und selbst-überwachte Maschinenlernverfahren und ihre Anwendung in Mustererkennung, KI und Sprachverarbeitung*: erfolgreiche Bearbeitung von in der Regel wöchentlichen Übungsaufgaben *Unüberwachte Maschinenlernverfahren und ihr Einsatz in Datenanalyse und Signal-/Sprachverarbeitung*: erfolgreiche Bearbeitung von in der Regel wöchentlichen Übungsaufgaben *Bestärkendes Lernen und sein Einsatz in Spielen, Simulation und Robotik*: erfolgreiche Bearbeitung von in der Regel wöchentlichen Übungsaufgaben *Digitale Elektronik I*: Fachgespräch (ca. 30 Min.) oder Test *Musterklassifikation und Signalschätzung*: Fachgespräch (ca. 30 Min.) oder Test *Sprachakustik und Sprachsignalverarbeitung*: Fachgespräch (ca. 30 Min.) oder Test *Introduction to Machine and Deep Learning and applications in physics and beyond*: erfolgreiche Bearbeitung von in der Regel wöchentlichen Übungsaufgaben
Prüfungsvorleistungen	Erbringen aller Leistungsnachweise in der Lehrveranstaltung, zu der die lehrveranstaltungsbezogene Modulprüfung stattfinden soll
Lehr- / Lernformen	Vorlesungen, Übungen
Unterrichts- / Prüfungssprache	Deutsch (mit Ausnahme der Lehrveranstaltung *Introduction to Machine and Deep Learning and applications in physics and beyond*, die auf Englisch angeboten wird)
Modulprüfung	
Modulabschlussprüfung, benotet	Die Modulprüfung zu diesem Modul erfolgt lehrveranstaltungsbezogen: In einer Lehrveranstaltung des Moduls nach Wahl der oder des Studierenden werden sowohl die konkreten Inhalte der jeweiligen Lehrveranstaltung als auch die übergeordneten Lernziele des Moduls abgeprüft. Alle anderen von der oder dem Studierenden in diesem Modul absolvierten Lehrveranstaltungen werden mit den oben aufgeführten Leistungsnachweisen abgeschlossen.
bestehend aus:	mündliche Prüfung (ca. 30 Min.) oder Klausur (90 Min.)

Lehrveranstaltungen des Moduls	LV-Form	SWS	CP	Pf/WP	Semester					
					1	2	3	4	5	6
Grundlagen der computergestützten Signalverarbeitung (Basics of computer-aided signal processing)	V+Ü	2+1	4	WP				X		X
Elektronik und Sensorik I (Electronics and Sensorics I)	V+Ü	2+1	4	WP			X		X	
Complex Renewable Energy Networks	V+Ü	2+1	4	WP			X	X	X	X
Physik der Energiegewinnung (Physics of Energy Production)	V+Ü	2+1	4	WP					X	
Energietechnik (Physics of Energy Management)	V+Ü	2+1	4	WP						X
Überwachte und selbst-überwachte Maschinenlernverfahren und ihre Anwendung in Mustererkennung, KI und Sprachverarbeitung (Supervised and Self-supervised Machine Learning and its Applications to Pattern Recognition, Artificial Intelligence and Speech Processing)	V+Ü	2+1	4	WP			X		X	
Unüberwachte Maschinenlernverfahren und ihr Einsatz in Datenanalyse und Signal-/Sprachverarbeitung (Unsupervised Machine Learning and its Application to Data Analysis and Signal-/Speech-Processing)	V+Ü	2+1	4	WP			X		X	
Bestärkendes Lernen und sein Einsatz in Spielen, Simulation und Robotik (Reinforcement-Learning and its Application to Games, Simulations and Robotics)	V+Ü	2+1	4	WP			X		X	
Digitale Elektronik I (Digital Electronics I)	V	2	3	WP				X		X
Musterklassifikation und Signalschätzung (Pattern classification and signal estimation)	V	2	3	WP				X		X
Sprachakustik und Sprachsignalverarbeitung (Speech acoustics and speech signal processing)	V	2	3	WP				X		X
Introduction to Machine and Deep Learning and applications in physics and beyond (Einführung in Maschinelles Lernen und “Deep-learning” mit Anwendungen in der Physik und Technik)	V+Ü	2+1	4	WP				X		X
Summe		4–9	6–12							

3.7 Biophysik

VEBP	**Einführung in die Biophysik** (Introduction to Biophysics)	Wahlpflicht-modul	5 CP (insg.) = 150 h		4 SWS
			Kontaktstudium 4 SWS / 60 h	Selbststudium 90 h	

Inhalte

Struktur, Dynamik und Funktion von Proteinen und Nukleinsäuren, z.B. im Hinblick auf Molekulare Motoren, Informationsübertragung, Energiewandlung, Sensorik; Eigenschaften biologischer Membranen; Erregungsleitung; Reaktionsmechanismen; experimentelle Methoden zur Untersuchung von Struktur und Funktion biologischer Makromoleküle; theoretische Methoden zu ihrer Beschreibung.

Lernergebnisse/Kompetenzziele

Die Studierenden erlangen Kenntnisse von Struktur und Aufbau biologischer Makromoleküle und Membranen (z.B. im Hinblick auf Molekulare Motoren, Informationsübertragung, Energiewandlung, Sensorik), von Grundlagen der Dynamik dieser Systeme, Grundlagen der Funktionen von Proteinen, Grundlagen der Reaktionskinetik, Grundlagen der Bioenergetik, von spektroskopischen Techniken, bildgebenden Techniken und Beugungstechniken zur Untersuchung von Struktur und Dynamik biologischer Makromoleküle. Die Studierenden können biophysikalische Zusammenhänge verstehen, diskutieren und Modelle zur Lösung von biophysikalischen Problemen einsetzen.
Das Modul führt die Studierenden in die Biophysik ein und kann auf die Bachelorarbeit oder Masterarbeit vorbereiten.

Teilnahmevoraussetzungen für Modul bzw. einzelne Veranstaltungen des Moduls

keine

Empfohlene Vorkenntnisse

Chemie Grundkenntnisse

Zuordnung (Studiengang/Fachbereich)	BSc Physik, MSc Physik / FB Physik
Verwendbarkeit	BSc Physik, MSc Physik
Zugehörigkeit zu Schwerpunkten	BIN
Häufigkeit des Angebots	jährlich
Dauer	einsemestrig
Modulbeauftragte / Modulbeauftragter	Bredenbeck
Studiennachweise / Prüfungsvorleistungen	
Teilnahmenachweise	regelmäßige Teilnahme an den Übungen
Leistungsnachweise	erfolgreiche Bearbeitung von in der Regel wöchentlichen Übungsaufgaben
Prüfungsvorleistungen	Erbringen aller Leistungsnachweise
Lehr- / Lernformen	Vorlesung, Übung
Unterrichts- / Prüfungssprache	Deutsch
Modulprüfung	
Modulabschlussprüfung, benotet	
bestehend aus:	mündliche Prüfung (ca. 30 Min.) oder Klausur (90 Min.)

Lehrveranstaltungen des Moduls	LV-Form	SWS	CP	Pf/WP	Semester					
					1	2	3	4	5	6
Einführung in die Biophysik (Introduction to Biophysics)	V+Ü	2.5+1.5	5	Pf		X		X		X
Summe		4	5							

BPH3N	**Biophysik 3: Methoden** (Biophysics 3: Methods)	Wahlpflicht-modul	6 CP (insg.) = 180 h		4 SWS
			Kontaktstudium 4 SWS / 60 h	Selbststudium 120 h	

Inhalte

Mikroskopie: optische Mikroskopie, hochauflösende Mikroskopie, Elektronenmikroskopie; Einzelmolekültechniken: Fluoreszenzmethoden, Rastersondenmethoden, Patch-Clamp-Techniken, Optical Tweezer; Spektroskopie: UV/Vis-Spektroskopie, IR-Spektroskopie, NMR-Spektroskopie, EPR-Spektroskopie; Beugungsmethoden: Röntgenbeugung, Röntgenkristallstrukturanalyse, Elektronenbeugung, Neutronenbeugung, Röntgenkleinwinkelstreuung, statische und dynamische Lichtstreuung; Simulationsverfahren: Moleküldynamische Verfahren, quantenchemische Verfahren; Weitere: Massenspektroskopie, analytische Ultrazentrifugation

Lernergebnisse/Kompetenzziele

Die Studierenden haben ein vertieftes Verständnis der biophysikalischen Methoden, insbesondere ihrer Funktionsprinzipien, Anwendungsbereiche und Limitationen. Sie sind in der Lage, für konkrete Fragestellungen ein sinnvolles Vorgehen zur Bearbeitung zu wählen und die die richtigen Methoden zu wählen. In Übungen wird der Stoff selbstständig vertieft.

Teilnahmevoraussetzungen für Modul bzw. einzelne Veranstaltungen des Moduls

keine

Empfohlene Vorkenntnisse

Inhalt des Moduls VEX3; der Inhalt der Module BPH1N und BPH2N ist hilfreich, aber nicht notwendig

Zuordnung (Studiengang/Fachbereich)	BSc Biophysik / FB Physik
Verwendbarkeit	BSc Biophysik, BSc Physik, MSc Physik
Zugehörigkeit zu Schwerpunkten	BIN
Häufigkeit des Angebots	jährlich
Dauer	einsemestrig
Modulbeauftragte / Modulbeauftragter	Frangakis
Studiennachweise / Prüfungsvorleistungen	
Teilnahmenachweise	regelmäßige Teilnahme an den Übungen
Leistungsnachweise	Bearbeitung der Übungsaufgaben
Prüfungsvorleistungen	Erbringen aller Leistungsnachweise
Lehr- / Lernformen	Vorlesung, Übung
Unterrichts- / Prüfungssprache	Deutsch
Modulprüfung	
Modulabschlussprüfung, benotet	
bestehend aus:	mündliche Prüfung (ca. 30 Min.) oder Klausur (90 Min.)

Lehrveranstaltungen des Moduls	LV-Form	SWS	CP	Pf/WP	Semester					
					1	2	3	4	5	6
Biophysik 3 (Biophysics 3: Methods)	V+Ü	3+1	6	Pf				X		X
Summe		4	6							

VKBPHB	**Spezielle Themen der Biophysik für BSc-Studierende** (Special Topics in Biophysics for BSc Students)	Wahlpflicht-modul	6–9 CP (insg.) = 180–270 h		4–6 SWS
			Kontaktstudium 4–6 SWS / 60–90 h	Selbststudium 120–180 h	

Inhalte

abhängig von den gewählten Lehrveranstaltungen:

(Bio-)molekulare Dynamik — Messmethoden und Anwendungen von Femtosekunden bis Sekunden: Experimentelle Methoden werden vorgestellt aus den Bereichen: Ultrakurzzeitspektroskopie; nichtlineare Laserspektroskopie; Einzelmolekülspektroskopie; Einzelmolekülmikroskopie; Kraftmikroskopie; Optische Pinzetten; zeitaufgelöste NMR-Spektroskopie; Massenspektrometrie; zeitaufgelöste Röntgenbeugung, Kristallographie und Elektronenbeugung. Der Informationsgehalt der verschiedenen Experimente wird anhand wichtiger Beispiele erläutert. Diese umfassen unter anderem: Protonentransfer; Bruch und Bildung chemischer Bindungen; Katalysatoren; Bildung transienter Strukturen in Flüssigkeiten; Energietransfer in Molekülen; Proteinfaltung; Enzymfunktion; Photorezeptoren; Molekulare Motoren; Photosynthese.

Biochemische Methoden in der Biophysik: Die vorgestellten Techniken beinhalten: Methoden der Molekularbiologie (Identifikation und Isolierung von Genen, Sequenzierung, Synthese, Klonierung, Mutagenese, Expression von rekombinanten Genen); Proteinchemische Methoden (lösliche Expression, Rückfaltung von denaturierten Proteinen, Besonderheiten bei Membranproteinen, chromatographische Trennverfahren, Pufferaustausch und Konzentrieren, Immobilisieren, Kristallisieren); Analytische Methoden (Konzentrations- und Reinheitsbestimmung, Elektrophorese, Bestimmung von Bindungskonstanten und Aktivitäten); Markierungstechniken (*Tags*, chemische Label, Isotopenlabel, künstliche Aminosäuren); biochemisch relevante Datenbanken und Software

Strahlen- und Umweltbiophysik: Grundlagen der Wechselwirkung ionisierender und nichtionisierender Strahlung mit Materie; Grundbegriffe von Dosis, Dosimetrie; gesetzliche Grundlagen des Strahlenschutzes; Anwendungen von Teilchenstrahlung und elektromagnetischer Strahlung in der Medizin; natürliche und künstliche Radioaktivität; nicht-ionisierende Strahlung. Übungen sind in die Vorlesung integriert.

Die Studierenden müssen mindestens zwei und können maximal drei Lehrveranstaltungen absolvieren. Dabei kann frei aus den verfügbaren Lehrveranstaltungen ausgewählt werden.

Lernergebnisse/Kompetenzziele

Das Modul vermittelt vertiefende Kenntnisse aus Themengebieten der Biophysik und kann als Vorbereitung auf eine biophysikalische Abschlussarbeit dienen. Nach Absolvieren des Moduls sind die Studierenden in dem von ihnen gewählten Vertiefungsbereich in der Lage, sich selbstständig in die aktuelle Forschung einzuarbeiten bzw. direkt zu ihr beizutragen.
Die Studierenden kennen Präparations- und Untersuchungsmethoden für biomolekulare Systeme und können geeignete Verfahren für eine gegebene Fragestellung auswählen, insbesondere für die Untersuchung von dynamischen Eigenschaften.
Sie können den theoretischen Hintergrund für die experimentellen Untersuchungsmethoden erläutern und Vor- und Nachteile einer Methode im Vergleich mit möglichen Alternativen abwägen.
Darüberhinaus können die Studierenden Mechanismen der biologischen Strahlenwirkung erläutern und die Auswirkung von elektromagnetischer und Teilchenstrahlung quantifizieren. Sie kennen deren medizinische Anwendungsmöglichkeiten und die Grundlagen der Dosimetrie und des gesetzlichen Strahlenschutzes.

Teilnahmevoraussetzungen für Modul bzw. einzelne Veranstaltungen des Moduls

keine

Empfohlene Vorkenntnisse

abhängig von den gewählten Lehrveranstaltungen:

(Bio-)molekulare Dynamik — Messmethoden und Anwendungen von Femtosekunden bis Sekunden: keine

Biochemische Methoden in der Biophysik: Grundbegriffe der allg. und anorganischen Chemie (Begriffe: Stoffmenge, Konzentration, Reaktionsgeschwindigkeit und -gleichgewicht, pH-Wert; Funktionsweise von Puffern), Struktur von Nukleinsäuren und Proteinen, Grundlagen der elektronischen Spektroskopie (Absorptionskoeffizient, Lambert-Beer'sches Gesetz, Fluoreszenz) Grundkenntnisse der Biochemie (Stoffwechsel von Pro- und Eukaryoten) und der organischen Chemie (grundlegende Reaktionstypen) sind wünschenswert

Strahlen- und Umweltbiophysik: Grundlagen des Atommodells und des Aufbaus der Atomkerne, beispielsweise aus der Vorlesung Experimentalvorlesung 3 (Atome und Quanten)

Zuordnung (Studiengang/Fachbereich)	BSc Physik / FB Physik
Verwendbarkeit	BSc Physik
Zugehörigkeit zu Schwerpunkten	BIN
Häufigkeit des Angebots	jährlich
Dauer	einsemestrig
Modulbeauftragte / Modulbeauftragter	Bredenbeck
Studiennachweise / Prüfungsvorleistungen	
Teilnahmenachweise	abhängig von den gewählten Lehrveranstaltungen: *(Bio-)molekulare Dynamik — Messmethoden und Anwendungen von Femtosekunden bis Sekunden*: keine *Biochemische Methoden in der Biophysik*: keine *Strahlen- und Umweltbiophysik*: regelmäßige Teilnahme an den Übungen
Leistungsnachweise	abhängig von den gewählten Lehrveranstaltungen: *(Bio-)molekulare Dynamik — Messmethoden und Anwendungen von Femtosekunden bis Sekunden*: Fachgespräch (ca. 30 Min.) oder Test *Biochemische Methoden in der Biophysik*: Fachgespräch (ca. 30 Min.) oder Test *Strahlen- und Umweltbiophysik*: erfolgreiche Bearbeitung von in der Regel wöchentlichen Übungsaufgaben
Prüfungsvorleistungen	Erbringen aller Leistungsnachweise in der Lehrveranstaltung, zu der die lehrveranstaltungsbezogene Modulprüfung stattfinden soll
Lehr- / Lernformen	Vorlesungen, Übung
Unterrichts- / Prüfungssprache	Deutsch
Modulprüfung	
Modulabschlussprüfung, benotet	Die Modulprüfung zu diesem Modul erfolgt lehrveranstaltungsbezogen: In einer Lehrveranstaltung des Moduls nach Wahl der oder des Studierenden werden sowohl die konkreten Inhalte der jeweiligen Lehrveranstaltung als auch die übergeordneten Lernziele des Moduls abgeprüft. Alle anderen von der oder dem Studierenden in diesem Modul absolvierten Lehrveranstaltungen werden mit den oben aufgeführten Leistungsnachweisen abgeschlossen.
bestehend aus:	mündliche Prüfung (ca. 30 Min.) oder Klausur (90 Min.)

Lehrveranstaltungen des Moduls	LV-Form	SWS	CP	Pf/WP	Semester					
					1	2	3	4	5	6
(Bio-)molekulare Dynamik — Messmethoden und Anwendungen von Femtosekunden bis Sekunden ((Bio-)molecular Dynamics — Measuring Methods and Applications from Femtoseconds to Seconds)	V	2	3	WP		X		X		X
Biochemische Methoden in der Biophysik (Biochemical Methods in Biophysics)	V	2	3	WP						X
Strahlen- und Umweltbiophysik (Radiation and Environmental Biophysics)	V+Ü	1.5+0.5	3	WP						X
Summe		4–6	6–9							

3.8 Neurowissenschaften

VTHNEU	**Theoretical Neuroscience**	Wahlpflicht-modul	6–9 CP (insg.) = 180–270 h		4–6 SWS
			Kontaktstudium 4–6 SWS / 60–90 h	Selbststudium 120–180 h	

Inhalte

Theoretical Neuroscience: basic models of neurons and neural networks, network dynamics, introduction to neural coding and decoding, synaptic plasticity and Hebbian learning, associative memory

Brain Dynamics: From Neuron to Cortex: Brain dynamics is described at the level of single neurons, microcircuits, and global cortical dynamics. Beginning from the discussion of harmonic oscillators, we introduce the basic knowledge needed to describe spiking dynamics of neurons. This is then used to classify neurons according to different spiking behaviors. We then describe universal architectural aspects of microcircuits that connect the single neurons into functional substructures. Finally, we describe generation, stability, and possible functionality of cortical oscillations. The latter are observed in the context of cognitive processing.

Lernergebnisse/Kompetenzziele

Das Modul vermittelt die grundlegenden Konzepte des Vertiefungsfachs Neuroscience. Es erlaubt insbesondere auch Studierenden ohne umfangreiche Vorkenntnisse den Einstieg in das Vertiefungsfach. Es führt dabei insbesondere in Methoden zur Modellierung von Neuronen und neuronalen Netzen und deren kollektiver Dynamik ein. Das Modul gibt gleichzeitig einen Überblick über das breite Angebot an Wahlpflichtveranstaltungen im Bereich Neuroscience, um den Studierenden die weitere Orientierung im Vertiefungsfach zu erleichtern. Nach Absolvieren des Moduls sind die Studierenden in der Lage, einfache Modelle von Nervenzellen und Netzwerken mit mathematischen und computergestützten Methoden zu analysieren:

- Die Studierenden kennen grundlegende Konzepte und Fachbegriffe und verstehen deren inhaltliche Zusammenhänge.
- Die Studierenden können Problemstellungen thematisch einordnen und mit den vermittelten Methoden analysieren.
- Die Studierenden können weiterführende Informationen zu einer gegebenen Fragestellung in Fachliteratur und Internet recherchieren.

Teilnahmevoraussetzungen für Modul bzw. einzelne Veranstaltungen des Moduls

keine

Empfohlene Vorkenntnisse

Theoretical Neuroscience: Inhalt der mathematischen Grundvorlesungen, elementare Kenntnisse von Matlab

Brain Dynamics: From Neuron to Cortex: Die Teilnehmer sollten ein grundsätzliches Verständnis für Differentialgleichungen haben auf dem Niveau, das etwa in den grundlegenden Vorlesungen der Theoretischen Physik (insb. Mechanik) vermittelt wird.

Zuordnung (Studiengang/Fachbereich)	BSc Physik, MSc Physik / FB Physik
Verwendbarkeit	BSc Physik, MSc Physik
Zugehörigkeit zu Schwerpunkten	BIN

Häufigkeit des Angebots	jährlich
Dauer	einsemestrig
Modulbeauftragte / Modulbeauftragter	Triesch
Studiennachweise / Prüfungsvorleistungen	
Teilnahmenachweise	*Theoretical Neuroscience*: regelmäßige Teilnahme an den Übungen *Brain Dynamics: From Neuron to Cortex*: keine
Leistungsnachweise	*Theoretical Neuroscience*: erfolgreiche Bearbeitung von in der Regel wöchentlichen Übungsaufgaben *Brain Dynamics: From Neuron to Cortex*: Fachgespräch (ca. 30 Min.) oder Test
Prüfungsvorleistungen	Erbringen aller Leistungsnachweise zur Lehrveranstaltung *Theoretical Neuroscience*
Lehr- / Lernformen	Vorlesungen, Übung
Unterrichts- / Prüfungssprache	Englisch
Modulprüfung	
Modulabschlussprüfung, benotet	
bestehend aus:	mündliche Prüfung (ca. 30 Min.) oder Klausur (90 Min.) zum Inhalt der Lehrveranstaltung *Theoretical Neuroscience*

Lehrveranstaltungen des Moduls	LV-Form	SWS	CP	Pf/WP	Semester					
					1	2	3	4	5	6
Theoretical Neuroscience	V+Ü	3+1	6	Pf					X	
Brain Dynamics: From Neuron to Cortex	V	2	3	WP					X	
Summe		4–6	6–9							

VTHNEU2	**Advanced Theoretical Neuroscience**	Wahlpflicht-modul	6–9 CP (insg.) = 180–270 h		4–6 SWS
			Kontaktstudium 4–6 SWS / 60–90 h	Selbststudium 120–180 h	

Inhalte

Theoretical Neuroscience 2: advanced models of neurons and neural networks, network dynamics, information theory and coding, neuronal and synaptic plasticity, self-organization in neural networks, theories of learning, analysis of neural data

Visual System – Neural Structure, Dynamics, and Function: Electromagnetic spectrum and light as visual stimulus; structure of eye, retina, and optic nerve; the thalamus as relay station to cortex and recurrent modulator; primary and secondary visual cortex; hypercolumns as modules of information processing; microcircuits; what- and where-paths; feedback connections; maps of cortical visual areas in monkey and human; representations of color, form, motion, and location; analysis of semantic categories; attention; psychological theories; capacity of working memory; visual search, illusory conjunctions, and binding problem; distractor interference phenomena; priming; attentional gating of information flow; oscillations and synchrony.

Lernergebnisse/Kompetenzziele

Das Modul vermittelt fortgeschrittene Konzepte des Vertiefungsfachs Neuroscience. Dabei werden fortgeschrittene Methoden zur Beschreibung von Nervenzellen und Netzwerken und zur Analyse biologischer Daten vermittelt. Das Modul führt die Studierenden an die aktuelle Forschung heran und bereitet sie auf das selbstständige wissenschaftliche Arbeiten in diesem Bereich vor. Nach Absolvieren des Moduls sind die Studierenden in der Lage, fortgeschrittene Modelle von Nervenzellen und Netzwerken mit mathematischen und computergestützten Methoden zu analysieren:

- Die Studierenden kennen grundlegende und weiterführende Konzepte und Fachbegriffe und verstehen deren inhaltliche Zusammenhänge.
- Die Studierenden können Problemstellungen thematisch einordnen und mit den vermittelten Methoden analysieren.
- Die Studierenden können weiterführende Informationen zu einer gegebenen Fragestellung in Fachliteratur und Internet recherchieren.
- Die Studierenden können aktuelle wissenschaftliche Publikationen verstehen und wiedergeben.
- Die Studierenden besitzen das theoretische und praktische Rüstzeug, um ein gegebenes Problem selbstständig zu untersuchen und durch Anwendung geeigneter Methoden zu lösen.

Teilnahmevoraussetzungen für Modul bzw. einzelne Veranstaltungen des Moduls

keine

Empfohlene Vorkenntnisse

Theoretical Neuroscience 2: Inhalt der mathematischen Grundvorlesungen, elementare Kenntnisse von Matlab und/oder Python, Inhalt der Lehrveranstaltung *Theoretical Neuroscience*.

Visual System – Neural Structure, Dynamics, and Function: Einführende Vorlesungen in die Mathematik und Physik

Zuordnung (Studiengang/Fachbereich)	BSc Physik, MSc Physik / FB Physik
Verwendbarkeit	BSc Physik, MSc Physik
Zugehörigkeit zu Schwerpunkten	BIN

Häufigkeit des Angebots	jährlich
Dauer	einsemestrig
Modulbeauftragte / Modulbeauftragter	Triesch
Studiennachweise / Prüfungsvorleistungen	
Teilnahmenachweise	*Theoretical Neuroscience 2*: regelmäßige Teilnahme an den Übungen *Visual System – Neural Structure, Dynamics, and Function*: keine
Leistungsnachweise	*Theoretical Neuroscience 2*: erfolgreiche Bearbeitung von in der Regel wöchentlichen Übungsaufgaben *Visual System – Neural Structure, Dynamics, and Function*: Fachgespräch (ca. 30 Min.) oder Test
Prüfungsvorleistungen	Erbringen aller Leistungsnachweise zur Lehrveranstaltung *Theoretical Neuroscience2*
Lehr- / Lernformen	Vorlesungen, Übung
Unterrichts- / Prüfungssprache	Englisch
Modulprüfung	
Modulabschlussprüfung, benotet	
bestehend aus:	mündliche Prüfung (ca. 30 Min.) oder Klausur (90 Min.) zum Inhalt der Lehrveranstaltung *Theoretical Neuroscience2*

Lehrveranstaltungen des Moduls	LV-Form	SWS	CP	Pf/WP	Semester					
					1	2	3	4	5	6
Theoretical Neuroscience 2	V+Ü	3+1	6	Pf						X
Visual System – Neural Structure, Dynamics, and Function	V	2	3	WP						X
Summe		4–6	6–9							

3.9 Physik von Atmosphäre und Klima

Studierenden des Schwerpunkts *Physik von Atmosphäre und Klima* stehen als Wahlpflichtmodule zusätzlich die Module *Atmosphärendynamik 4* (METTHB) (Modulbeschreibung siehe Modulhandbuch des MSc Meteorologie) und *Meteorologisches Vertiefungsmodul (kompakt)* (METWAK) (Modulbeschreibung im Anschluss) offen.

METWAK	**Meteorologisches Vertiefungsmodul (kompakt)**	Wahlpflichtmodul des Schwerpunkts PAK	8 CP (insg.) = 240 h		6 SWS
	(Meteorological Specialisation Modul (compact))		Kontaktstudium 6 SWS / 90 h	Selbststudium 150 h	

Inhalte

abhängig von den gewählten Lehrveranstaltungen:

Atmosphärische Strahlung: Nach einer Wiederholung der Strahlungsgesetze, werden die verschiedenen Prozesse der Absorption, Emission und der atmosphärischen Streuung besprochen. Das Strahlungsübertragungsproblem und die spektrale Integration und deren mathematische Behandlung, die Parametrisierung der Strahlungsprozesse in Vorhersagemodellen, und die Wechselwirkung der Strahlung mit anderen Prozessen (Wolkenbildung, konvektive Flüsse) werden diskutiert. Eine Einbettung der Vorlesungsinhalte in Aspekte des globalen Energiehaushalts, der Strahlungsmessung und der Fernerkundung erfolgt.

Klimawandel: Strahlungshaushalt, natürlicher und anthropogener Treibhauseffekt; Kohlenstoffkreislauf; beobachteter Klimawandel; Extremereignisse; Methan, N2O, Halocarbons; direkte und indirekte Aerosolklimaeffekte; Rückkopplungen im Klimasystem; Paläoklima; erwarteter Klimawandel; Geoengineering, CCS; Folgen des Klimawandels; Maßnahmen zum Klimaschutz; Adaption & Mitigation; aktueller IPCC-Report.

Atmosphärendynamik 4: Welle-Grundstrom-Wechselwirkung, mittlere Zirkulation.

Die Studierenden müssen zwei Lehrveranstaltungen des Moduls absolvieren. Dabei kann frei aus den verfügbaren Lehrveranstaltungen ausgewählt werden.

Lernergebnisse/Kompetenzziele

Die Studierenden vertiefen ihr Wissen in Spezialbereichen, lernen die wissenschaftliche Entwicklung in diesen Bereichen einzuordnen, festigen ihr Wissen in Übungen und Seminaren, und werden durch die Übungen und Seminare in die Lage versetzt in den Spezialbereichen wissenschaftliche Diskussionen zu führen.

Teilnahmevoraussetzungen für Modul bzw. einzelne Veranstaltungen des Moduls

Module EMETA, VMATH1

Empfohlene Vorkenntnisse

Inhalt der Module EMETA, EMETBK, VMATH1

Zuordnung (Studiengang/Fachbereich)	BSc Physik / FB Geowissenschaften/Geographie
Verwendbarkeit	BSc Physik mit Schwerpunkt *Physik von Atmosphäre und Klima*
Zugehörigkeit zu Schwerpunkten	PAK
Häufigkeit des Angebots	jährlich
Dauer	einsemestrig

Modulbeauftragte / Modulbeauftragter	Ahrens
Studiennachweise / Prüfungsvorleistungen	
Teilnahmenachweise	abhängig von den gewählten Lehrveranstaltungen: *Atmosphärische Strahlung*: regelmäßige Teilnahme an den Übungen *Klimawandel*: regelmäßige Teilnahme an den Übungen *Atmosphärendynamik 4*: regelmäßige Teilnahme an den Übungen
Leistungsnachweise	abhängig von den gewählten Lehrveranstaltungen: *Atmosphärische Strahlung*: erfolgreiche Bearbeitung von in der Regel wöchentlichen Übungsaufgaben *Klimawandel*: erfolgreiche Bearbeitung von Übungsblättern *Atmosphärendynamik 4*: erfolgreiche Bearbeitung von in der Regel wöchentlichen Übungsaufgaben
Prüfungsvorleistungen	Erbringen aller Leistungsnachweise in der Lehrveranstaltung, zu der die lehrveranstaltungsbezogene Modulprüfung stattfinden soll
Lehr- / Lernformen	Vorlesungen, Übungen
Unterrichts- / Prüfungssprache	Deutsch und Englisch
Modulprüfung	
Modulabschlussprüfung, benotet	Die Modulprüfung zu diesem Modul erfolgt lehrveranstaltungsbezogen: In einer Lehrveranstaltung des Moduls nach Wahl der oder des Studierenden werden sowohl die konkreten Inhalte der jeweiligen Lehrveranstaltung als auch die übergeordneten Lernziele des Moduls abgeprüft. Alle anderen von der oder dem Studierenden in diesem Modul absolvierten Lehrveranstaltungen werden mit den oben aufgeführten Leistungsnachweisen abgeschlossen.
bestehend aus:	mündliche Prüfung (ca. 30 Min.) oder Klausur (90 Min.)

Lehrveranstaltungen des Moduls	LV-Form	SWS	CP	Pf/WP	Semester					
					1	2	3	4	5	6
Atmosphärische Strahlung (Atmospheric Radiation)	V+Ü	2+1	4	WP						X
Klimawandel (Climate Change)	V+Ü	2+1	4	WP				X		X
Atmosphärendynamik 4 (Atmospheric Dynamics 4)	V+Ü	2+1	4	WP						X
Summe		6	8							

3.10 Anrechenbare Wahlpflichtmodule aus anderen Studiengängen (Importmodule)

Neben den in diesem Modulhandbuch aufgeführten Wahlpflichtmodulen können Studierende sich auch die folgenden Wahlpflichtmodule aus anderen Studiengängen anrechnen lassen:

- *Einführung in Angewandtes Quantencomputing* (Modulbeschreibung siehe Modulhandbuch des MSc Informatik)
- *Gruppentheorie in der Chemie* (Modulbeschreibung siehe Modulhandbuch des MSc Chemie)

Es gelten die Prüfungsregelungen des Studiengangs, von dem die jeweiligen Module importiert werden.

4 Wahlpflichtmodule des Bachelorstudiengangs: II) Zweijährlich oder unregelmäßig angebotene Module

4.1 Fachgebietsübergreifende Module

VHSTATP	**Höhere Statistische Physik: Vielteilchensysteme im Nicht-Gleichgewicht**	Wahlpflicht-modul	6 CP (insg.) = 180 h		4 SWS
	(Advanced Statistical Physics: Many-body systems out of equilibrium)		Kontaktstudium 4 SWS / 60 h	Selbststudium 120 h	

Inhalte	
Langevin-Gleichungen, Fokker-Planck Gleichungen, Master Gleichungen, Kinetik klassischer Gase, Boltzmann-Gleichung, Navier-Stokes Gleichung, Keldysh-Formalismus, Funktionalintegral- Formulierung der Nicht-Gleichgewichts-Vielteilchentheorie, Quantenkinetische Gleichungen.	
Lernergebnisse/Kompetenzziele	
Die Studierenden sind mit dem Übergang von der theoretischen Beschreibung von thermodynamischen Gleichgewichtssystemen zu solchen außerhalb des Gleichgewichts vertraut. Sie sind damit in der Lage, physikalische Nichtgleichgewichtssituationen zu kategorisieren, den entsprechenden Gleichungssystemen zuzuordnen und diese zu lösen.	
Teilnahmevoraussetzungen für Modul bzw. einzelne Veranstaltungen des Moduls	
keine	
Empfohlene Vorkenntnisse	
Inhalt der Veranstaltungen *Theoretische Physik 1–5*	
Zuordnung (Studiengang/Fachbereich)	BSc Physik, MSc Physik / FB Physik
Verwendbarkeit	BSc Physik, MSc Physik
Zugehörigkeit zu Schwerpunkten	AKT KMQ
Häufigkeit des Angebots	unregelmäßig
Dauer	einsemestrig
Modulbeauftragte / Modulbeauftragter	Kopietz
Studiennachweise / Prüfungsvorleistungen	
Teilnahmenachweise	regelmäßige Teilnahme an den Übungen
Leistungsnachweise	erfolgreiche Bearbeitung von in der Regel wöchentlichen Übungsaufgaben
Prüfungsvorleistungen	Erbringen aller Leistungsnachweise
Lehr- / Lernformen	Vorlesung, Übung
Unterrichts- / Prüfungssprache	Deutsch
Modulprüfung	
Modulabschlussprüfung, benotet	
bestehend aus:	mündliche Prüfung (ca. 30 Min.) oder Klausur (90 Min.)

Lehrveranstaltungen des Moduls	LV-Form	SWS	CP	Pf/WP	Semester					
					1	2	3	4	5	6
Höhere Statistische Physik: Vielteilchensysteme im Nicht-Gleichgewicht (Advanced Statistical Physics: Many-body systems out of equilibrium)	V+Ü	3+1	6	Pf					X	X
Summe		4	6							

VNUMP	**Numerische Methoden der Physik** (Numerical Methods in Physics)	Wahlpflicht-modul	8 CP (insg.) = 240 h		6 SWS
			Kontaktstudium 6 SWS / 90 h	Selbststudium 150 h	

Inhalte

Darstellung von Zahlen, Rundungsfehler; Gewöhnliche Differentialgleichungen, Anfangswertprobleme; Einheitenbehaftete/dimensionslose Größen; Nullstellensuche, lösen nicht-linearer Gleichungen; Gewöhnliche Differentialgleichungen, Randwertprobleme; Lösen linearer Gleichungssysteme; Numerische Integration; Eigenwertprobleme; Verwendung numerischer Bibliotheken; Interpolation, Extrapolation, Approximation; Funktionsminimierung, Optimierung; fortgeschrittene numerische Techniken wie z.B. Lösen von partiellen Differentialgleichungen oder Monte Carlo-Simulation statistischer Zustandssummen.
Dieser Kurs ist eine direkte Fortsetzung des Moduls *Einführung in die Programmierung* (VPROG).

Lernergebnisse/Kompetenzziele

Das Modul vermittelt auf einer praktischen Ebene die wichtigsten numerischen Verfahren, die in physikalischen Rechnungen eingesetzt werden. Die Studierenden erlangen die Kompetenz, selbst Methoden zu implementieren und aus Programmbibliotheken kritisch die für ein Problem geeigneten Verfahren auszuwählen.

Teilnahmevoraussetzungen für Modul bzw. einzelne Veranstaltungen des Moduls

keine

Empfohlene Vorkenntnisse

Mathematische Kenntnisse etwa aus den Modulen VTH1–VTH4; Programmierkentnisse in einer numerischen Sprache (etwa Java, C, C++, Fortran) entsprechend dem Inhalt des Moduls VPROG

Zuordnung (Studiengang/Fachbereich)	BSc Physik, MSc Physik / FB Physik
Verwendbarkeit	BSc Physik, MSc Physik, BSc Biophysik
Zugehörigkeit zu Schwerpunkten	AKT AKO KMQ COM BIN
Häufigkeit des Angebots	unregelmäßig
Dauer	einsemestrig
Modulbeauftragte / Modulbeauftragter	Wagner
Studiennachweise / Prüfungsvorleistungen	
Teilnahmenachweise	regelmäßige Teilnahme an den Übungen
Leistungsnachweise	erfolgreiche Bearbeitung von in der Regel wöchentlichen Übungsaufgaben
Prüfungsvorleistungen	Erbringen aller Leistungsnachweise
Lehr- / Lernformen	Vorlesung, Übung
Unterrichts- / Prüfungssprache	Deutsch oder Englisch
Modulprüfung	
Modulabschlussprüfung, benotet	
bestehend aus:	mündliche Prüfung (ca. 30 Min.) oder Klausur (90 Min.)

Lehrveranstaltungen des Moduls	LV-Form	SWS	CP	Pf/WP	Semester					
					1	2	3	4	5	6
Numerische Methoden der Physik (Numerical Methods in Physics)	V+Ü	4+2	8	Pf					X	X
Summe		6	8							

VCPSM	**Computational Physics and Simulations in Matlab**	Wahlpflicht-modul	6 CP (insg.) = 180 h		6 SWS
			Kontaktstudium 6 SWS / 90 h	Selbststudium 90 h	

Inhalte	
Programmieren und Visualisieren in Matlab, numerische Simulationen physikalischer Fragestellungen: Ableitung und Integration, Optimierung and Minimierung, gewöhnliche Differentialgleichungen, chaotische Dynamik, Fraktale, Zufallsbewegungen, Eigenwertprobleme, Matrixzerlegungen, partielle Differentialgleichungen, Perkolation, Monte-Carlo-Methoden, neuronale Netze.	
Lernergebnisse/Kompetenzziele	
Im Rahmen des Tutoriums wird die Anwendung der vorgestellten Algorithmen auf konkrete physikalische Problemstellungen vermittelt. Dabei erlernen und verwenden die Studierenden die Programmierumgebung MATLAB, die auch bei geringen Vorkenntnissen effiziente Simulationen und Visualisierung ermöglicht.	
Teilnahmevoraussetzungen für Modul bzw. einzelne Veranstaltungen des Moduls	
keine	
Empfohlene Vorkenntnisse	
Grundlagen der Analysis und der linearen Algebra, sowie der Inhalt der Veranstaltungen *Theoretische Physik 1–2*, insbesondere Newton- und Hamilton-Mechanik, Phasenraum, Wellengleichung.	
Zuordnung (Studiengang/Fachbereich)	BSc Physik, MSc Physik / FB Physik
Verwendbarkeit	BSc Physik (kann anstelle des Pflichtmoduls VPROG absolviert werden), MSc Physik, BSc Biophysik
Zugehörigkeit zu Schwerpunkten	AKT AKO KMQ COM BIN
Häufigkeit des Angebots	unregelmäßig
Dauer	einsemestrig
Modulbeauftragte / Modulbeauftragter	Hofstetter
Studiennachweise / Prüfungsvorleistungen	
Teilnahmenachweise	regelmäßige Teilnahme an den Übungen
Leistungsnachweise	erfolgreiche Bearbeitung von in der Regel wöchentlichen Übungsaufgaben
Prüfungsvorleistungen	Erbringen aller Leistungsnachweise
Lehr- / Lernformen	Vorlesung, Übung
Unterrichts- / Prüfungssprache	Deutsch
Modulprüfung	
Modulabschlussprüfung, benotet	
bestehend aus:	mündliche Prüfung (ca. 30 Min.) oder Klausur (90 Min.)

Lehrveranstaltungen des Moduls	LV-Form	SWS	CP	Pf/WP	Semester					
					1	2	3	4	5	6
Computational Physics and Simulations in Matlab	V+Ü	3+3	6	Pf			X		X	
Summe		6	6							

VCADS	**Complex Adaptive Dynamical Systems**	Wahlpflicht-modul	8 CP (insg.) = 240 h		6 SWS
			Kontaktstudium 6 SWS / 90 h	Selbststudium 150 h	

Inhalte

Foundations: Graph Theory, Information Theory, Neural Networks, Bifurcation Theory, Game Theory, Branching Theory, Cognitive System Theory
Models: Small-World Network, Cellular Automata, Boolean Networks, Sandpile Model, Kuramoto Model, Quasispecies Model, Galton-Watson Process
Phenomena: Self-Organized Criticality, Determistic Chaos, Stochastic Resonance and Escape, Synchronization, Dynamical Phase Transitions, Error Catastrophy, Small-World Phenomenon

Lernergebnisse/Kompetenzziele

Students are familiar with the basic concepts of modern dynamical systems theory, including the time-series analysis and game and branching theory. They can analyze and set up neural networks. They are aware of standard complexity models and can determine whether systems are chaotic and/or self-critical. After completion of this module students are well prepared for research in computational neuroscience, theoretical biology, ecology, epidemiology and network sciences in general.

Teilnahmevoraussetzungen für Modul bzw. einzelne Veranstaltungen des Moduls

keine

Empfohlene Vorkenntnisse

Einführende Vorlesungen in die Mathematik

Zuordnung (Studiengang/Fachbereich)	BSc Physik, MSc Physik / FB Physik
Verwendbarkeit	BSc Physik, MSc Physik
Zugehörigkeit zu Schwerpunkten	BIN
Häufigkeit des Angebots	zweijährlich
Dauer	einsemestrig
Modulbeauftragte / Modulbeauftragter	Gros
Studiennachweise / Prüfungsvorleistungen	
Teilnahmenachweise	regelmäßige Teilnahme an den Übungen
Leistungsnachweise	erfolgreiche Bearbeitung von in der Regel wöchentlichen Übungsaufgaben
Prüfungsvorleistungen	Erbringen aller Leistungsnachweise
Lehr- / Lernformen	Vorlesung, Übung
Unterrichts- / Prüfungssprache	Deutsch oder Englisch
Modulprüfung	
Modulabschlussprüfung, benotet	
bestehend aus:	mündliche Prüfung (ca. 30 Min.) oder Klausur (90 Min.)

Lehrveranstaltungen des Moduls	LV-Form	SWS	CP	Pf/WP	Semester					
					1	2	3	4	5	6
Complex Adaptive Dynamical Systems	V+Ü	4+2	8	Pf			X	X	X	X
Summe		6	8							

VSELFORG	**Self-Organization: Theory and Simulations**	Wahlpflicht-modul	8 CP (insg.) = 240 h		6 SWS
			Kontaktstudium 6 SWS / 90 h	Selbststudium 150 h	

Inhalte

The course will be a combination of lectures on complex system theory with a focus on self-organization, together with a computer lab. The lectures will treat topics like pattern formation in reaction-diffusion systems, opinion dynamics, swarm intelligence, Darwinian evolution and cognitive system theory. An introduction to dynamical system theory will be given, including bifurcation theory, chaos and dissipative systems. In the computer lab an introduction to programming in general will be given and students are expected to write their own codes and to perform then a series of simulations for self-organizing systems.

Lernergebnisse/Kompetenzziele

To comprehend the basics of the complex system theory and the principles leading to self-organizing processes in physics and nature. Both an analytic and mathematical understanding and the capability to perform numerical simulations and experiments testing the respective phenomena.

Teilnahmevoraussetzungen für Modul bzw. einzelne Veranstaltungen des Moduls

keine

Empfohlene Vorkenntnisse

The physics basic math knowledge

Zuordnung (Studiengang/Fachbereich)	BSc Physik, MSc Physik / FB Physik
Verwendbarkeit	BSc Physik, MSc Physik, MSc Biophysik, BSc Meteorologie, MSc Meteorologie
Zugehörigkeit zu Schwerpunkten	BIN
Häufigkeit des Angebots	unregelmäßig
Dauer	einsemestrig
Modulbeauftragte / Modulbeauftragter	Gros
Studiennachweise / Prüfungsvorleistungen	
Teilnahmenachweise	regelmäßige Teilnahme an den Übungen
Leistungsnachweise	erfolgreiche Bearbeitung von in der Regel wöchentlichen Übungsaufgaben
Prüfungsvorleistungen	Erbringen aller Leistungsnachweise
Lehr- / Lernformen	Vorlesung, Übung
Unterrichts- / Prüfungssprache	Englisch
Modulprüfung	
Modulabschlussprüfung, benotet	
bestehend aus:	mündliche Prüfung (ca. 30 Min.) oder Klausur (90 Min.)

Lehrveranstaltungen des Moduls	LV-Form	SWS	CP	Pf/WP	Semester					
					1	2	3	4	5	6
Self-Organization: Theory and Simulations	V+Ü	4+2	8	Pf			X	X	X	X
Summe		6	8							

VCPPML	**Advanced Introduction to C++, Scientific Computing and Machine Learning**	Wahlpflicht-modul	8 CP (insg.) = 240 h		6 SWS
			Kontaktstudium 6 SWS / 90 h	Selbststudium 150 h	

Inhalte

Einführung in Linux und C++; Datentypen, Kontrollfluss, Exceptions, Pointers, Funktionen, Templates, Klassen, Konstruktoren, Destruktoren, Vererbung, String- und Filestreams, IO Manipulation, Containers, Assoziative Datenstrukturen. Zusätzlich werden die grundlegenden numerischen Methoden und Konzepte behandelt wie Summation, Rekursion, Stabilität, Auswertung von Integralen, Lösung von Differentialgleichungen, das Runge-Kutta Verfahren, Elimination, Gauss Verfahren, Monte Carlo- und Metropolis Verfahren. Weiterhin wird eine Einführung in die grundlegenden Konzepte des Maschinellen Lernens gegeben, wie überwachtes, nicht-überwachtes und verstärktes Lernen, Klassifikation, Regression, Klustering, Dimensionalitätsreduktion und Neuronale Netze.

Lernergebnisse/Kompetenzziele

Für den Physiker ist es wichtig, sich in jeder Progammier-Umwelt zurechtzufinden, sei es wissenschaftliches Rechnen, Web-Programmierung oder Maschinelles Lernen. Ziel der Vorlesung ist es, das hierfür notwendige Basiswissen zu vermitteln. Dafür soll das eigenständige Programmieren in C++ anhand von Übungen und von größeren numerischen Projekten erlernt werden. Mit den Grundlagen numerischer Methoden und vom Maschinellen Lernen soll die Fähigkeit erworben werden, moderne Programmpakete nicht nur zu benutzen, sondern auch zu verstehen nach welchen Prinzipien diese arbeiten.

Teilnahmevoraussetzungen für Modul bzw. einzelne Veranstaltungen des Moduls

keine

Empfohlene Vorkenntnisse

keine

Zuordnung (Studiengang/Fachbereich)	BSc Physik, MSc Physik / FB Physik
Verwendbarkeit	BSc Physik (kann anstelle des Pflichtmoduls VPROG absolviert werden), MSc Physik
Zugehörigkeit zu Schwerpunkten	BIN COM
Häufigkeit des Angebots	unregelmäßig
Dauer	einsemestrig
Modulbeauftragte / Modulbeauftragter	Gros
Studiennachweise / Prüfungsvorleistungen	
Teilnahmenachweise	regelmäßige Teilnahme an den Übungen
Leistungsnachweise	erfolgreiche Bearbeitung von in der Regel wöchentlichen Übungsaufgaben; erfolgreicher Abschluss von Programmierprojekten
Prüfungsvorleistungen	Erbringen aller Leistungsnachweise
Lehr- / Lernformen	Vorlesung, Übung
Unterrichts- / Prüfungssprache	Deutsch oder Englisch

Modulprüfung										
Modulabschlussprüfung, benotet										
bestehend aus:	mündliche Prüfung (ca. 30 Min.) oder Klausur (90 Min.)									
Lehrveranstaltungen des Moduls	LV-Form	SWS	CP	Pf/WP	Semester					
					1	2	3	4	5	6
Advanced Introduction to C++, Scientific Computing and Machine Learning	V+Ü	4+2	8	Pf	X		X		X	
Summe		6	8							

VPSOC	**Physik sozio-ökonomischer Systeme mit dem Computer**	Wahlpflicht-modul	5 CP (insg.) = 150 h		4 SWS
	(Physics of Socio-Economic Systems on the Computer)		Kontaktstudium 4 SWS / 60 h	Selbststudium 90 h	

Inhalte

Dieses Modul gibt eine Einführung in das interdisziplinäre Forschungsfeld der Physik sozio-ökonomischer Systeme. In sozio-ökonomischen Systemen, wie z.B. bei Finanzmärkten, sozialen Netzwerken, Verkehrssystemen oder wissenschaftliche Kooperationsnetzwerken, sind die dem System zugrunde liegenden Akteure ständigen Entscheidungssituationen ausgesetzt, wobei der Erfolg und die Auswirkung der individuell gewählten Strategie von den Entscheidungen der anderen beteiligten Akteuren abhängt. Die (evolutionäre) Spieltheorie und die Physik komplexer Netzwerke stellen die beiden Grundsäulen der theoretischen Beschreibung und mathematischen Formulierung solcher Systeme dar. Im ersten Teil des Kurses werden die grundlegenden Konzepte der Spieltheorie thematisiert und die Studierenden erlernen, unter Verwendung von Computeralgebra-Systemen (Maple und Mathematica), deren Anwendung auf diverse Spielklassen. Neben den endlichen Zweipersonen-Spielen und N-Personen-Spielen wird auch auf die evolutionäre Entwicklung ganzer Spieler-Populationen eingegangen (evolutionäre Spieltheorie). Die zeitliche Entwicklung der Entscheidungen der Spieler wird zusätzlich durch die zugrunde liegende Struktur des sozio-ökonomischen Netzwerks der Spielergruppen bestimmt. Der zweite Teil des Kurses befasst sich deshalb mit der Theorie sozio-ökonomischer Netzwerke und deren mathematischen Beschreibung mittels graphentheoretischer Konzepte. Hierbei wird zusätzlich auf die computerbasierte Simulation unterschiedlicher Netzwerkstrukturen eingegangen und ein Programm, welches das Barabasi-Albert Modell eines skalenfreien Netzwerks numerisch simuliert, gemeinsam mit dem Betreuer erstellt. Der dritte Teil gibt einen Einblick in die aktuelle Forschung und behandelt neuere Entwicklungen dieses Forschungsfeldes. Es wird hierbei einerseits speziell auf die evolutionäre Spieltheorie auf komplexen Netzwerken und die Quanten-Spieltheorie eingegangen, andererseits wird ein breiter Überblick der diversen Anwendungsfelder sozio-ökonomischer Systeme vermittelt.
Im speziellen werden die folgenden Themen behandelt: Grundlagen der Spieltheorie, Definition eines Spiels, Strategienmenge der Spieler, reine und gemischte Strategie, dominante Strategie und Nash-Gleichgewicht, Zweipersonen Spiele, N-Personen–M-Strategien Spiel, Koordinationsspiele, Anti-Koordinationsspiele und dominante Spiele, evolutionäre Spieltheorie und Replikatorgleichung, Theorie der komlexen Netzwerke, skalenfreie, exponentielle, zufällige und kleine Welt Netzwerke, Anwendungsfelder und Beispiele real existierender sozio-ökonomischer und biologischer Netzwerke, Einführung in die Quanten-Spieltheorie, Programmieren und Visualisieren in Maple, Mathematica. Bei Bedarf: Python/Matplotlib, C/C++ bzw. Java.

Lernergebnisse/Kompetenzziele

Nach Abschluss des Moduls verstehen die Studierenden die Grundlagen der Spieltheorie und die Theorie der komplexen Netzwerke und haben diese in mehreren Anwendungsbeispielen mittels numerischer Rechnungen angewendet. Die Studierenden sind nach Abschluss des Moduls in der Lage, die evolutionäre Entwicklung von Populationen in einem sich zeitlich wiederholenden Spiel zu beschreiben und dilemma-artige Konstellationen zu analysieren. Des weiteren beherrschen die Studierenden nach Abschluss des Moduls die Grundlagen der Programmierumgebungen bzw. Programmiersprachen Maple und Python/Matplotlib.

Teilnahmevoraussetzungen für Modul bzw. einzelne Veranstaltungen des Moduls

keine

Empfohlene Vorkenntnisse

Mathematische Grundlagen (Analysis, lineare Algebra, Differentialgleichungen), Grundlagen der Quantentheorie. Programmierkenntnisse sind nicht erforderlich aber von Vorteil (Grundlagen werden in der Vorlesung gemeinsam erarbeitet).

Zuordnung (Studiengang/Fachbereich)	BSc Physik, MSc Physik / FB Physik
Verwendbarkeit	BSc Physik, MSc Physik
Zugehörigkeit zu Schwerpunkten	COM
Häufigkeit des Angebots	unregelmäßig
Dauer	einsemestrig
Modulbeauftragte / Modulbeauftragter	Triesch
Studiennachweise / Prüfungsvorleistungen	
Teilnahmenachweise	regelmäßige Teilnahme an den Übungen
Leistungsnachweise	erfolgreiche Durchführung einer Projektarbeit
Prüfungsvorleistungen	Erbringen aller Leistungsnachweise
Lehr- / Lernformen	Vorlesung, Übung
Unterrichts- / Prüfungssprache	Deutsch oder Englisch
Modulprüfung	
Modulabschlussprüfung, benotet	
bestehend aus:	mündliche Prüfung (ca. 30 Min.) oder Klausur (90 Min.)

Lehrveranstaltungen des Moduls	LV-Form	SWS	CP	Pf/WP	Semester					
					1	2	3	4	5	6
Physik sozio-ökonomischer Systeme mit dem Computer (Physics of Socio-Economic Systems on the Computer)	V+Ü	2.5+1.5	5	Pf					X	
Summe		4	5							

VQI	**Quantenwahrscheinlichkeit und Informationsverarbeitung**	Wahlpflichtmodul	6 CP (insg.) = 180 h		4 SWS
	(Quantum probability and information processing)		Kontaktstudium 4 SWS / 60 h	Selbststudium 120 h	

Inhalte

Wahrscheinlichkeit und Information in der Quantentheorie: Logik, klassische Wahrscheinlichkeitstheorie, Wahrscheinlichkeiten in der Quantentheorie, Kochen-Specker-Theorem, Geometrie des Zustandsraums, empirische Rekonstruktion von Quantenzuständen, Entropie und Information, Holevo-Schranke, Gibbs-Modelle, Optimierung der Beschreibungsebene, Symmetrien, Informationsübertragung mit und ohne gemeinsame Bezugssysteme

Quantencomputer: Qubits, Quantengatter, Schaltkreise, no-cloning-Theorem, Bell-Zustände, Verschränkung, Quanten-Teleportation, dense coding, Deutsch-Algorithmus, Fehlerkorrektur, Shor-Code, Quantenkryptografie, BB84-Protokoll, Quanten-Fouriertransformation, Faktorisierung (Shor-Algorithmus), Grover-Iteration, Datenbanksuche, experimentelle Realisierung, DiVincenzo-Kriterien, nichtlineare Optik, optische Kavitäten, Ionenfallen, Kernspinresonanz, Einweg-Quantencomputer

Lernergebnisse/Kompetenzziele

Das Modul führt in die Grundlagen der klassischen und quantenmechanischen Wahrscheinlichkeits- und Informationstheorie ein sowie in die modernen Forschungsgebiete der Quanteninformationsverarbeitung, der statistischen Rekonstruktion von Zuständen und Prozessen sowie der Thermodynamik kleiner Systeme. Nach Absolvieren des Moduls kennen Studierende die Bedeutung von Wahrscheinlichkeit und Information für das moderne Verständnis der Quantentheorie sowie deren Ähnlichkeiten und Unterschiede zur klassischen Wahrscheinlichkeits- und Informationstheorie. Studierende sind in der Lage, einfache Quanten-Schaltkreise zu skizzieren und deren Funktionsweise zu erläutern. Insbesondere beherrschen Studierende die grundlegenden Protokolle zur Fehlerkorrektur, zur sicheren Verteilung kryptografischer Schlüssel, zur effizienten Faktorisierung sowie zur effizienten Datenbanksuche. Darüber hinaus sind Studierende mit den Möglichkeiten der Realisierung in realen physikalischen Systemen vertraut. Die Lehrveranstaltungen sind interaktiv und ermuntern die Teilnehmer zu aktiver Diskussion. Sie stärken somit über die reine Wissensvermittlung hinaus die Fähigkeit der Studierenden zur Argumentation und zur kritischen Auseinandersetzung mit physikalischen Fragestellungen.

Teilnahmevoraussetzungen für Modul bzw. einzelne Veranstaltungen des Moduls

keine

Empfohlene Vorkenntnisse

Inhalt der Module Theoretische Physik 4–5 (Quantenmechanik, Statistische Mechanik), im Besonderen: Wellenfunktion, Hilbertraum, Schrödingergleichung, quantenmechanische Messung, Pauli-Matrizen, Dichtematrix, Entropie, statistische Ensembles

Zuordnung (Studiengang/Fachbereich)	BSc Physik, MSc Physik / FB Physik
Verwendbarkeit	BSc Physik, MSc Physik
Zugehörigkeit zu Schwerpunkten	KMQ
Häufigkeit des Angebots	unregelmäßig
Dauer	zweisemestrig
Modulbeauftragte / Modulbeauftragter	Hofstetter
Studiennachweise / Prüfungsvorleistungen	
Teilnahmenachweise	keine

Leistungsnachweise	keine
Prüfungsvorleistungen	keine
Lehr- / Lernformen	Vorlesungen
Unterrichts- / Prüfungssprache	Englisch
Modulprüfung	
Modulabschlussprüfung, benotet	
bestehend aus:	mündliche Prüfung (ca. 30 Min.) oder Klausur (90 Min.)

Lehrveranstaltungen des Moduls	LV-Form	SWS	CP	Pf/WP	Semester					
					1	2	3	4	5	6
Wahrscheinlichkeit und Information in der Quantentheorie (Quantum probability and information)	V	2	3	Pf					X	
Quantencomputer (Quantum computing)	V	2	3	Pf						X
Summe		4	6							

VIQMPT	**Introduction to Quantum Many-Particle Theory** (Einführung in die Vielteilchentheorie)	Wahlpflicht-modul	5 CP (insg.) = 150 h		4 SWS
			Kontaktstudium 4 SWS / 60 h	Selbststudium 90 h	

Inhalte

many-particle states and operators; Hartree-Fock approximation, correlation (Part I); 2nd quantization, Fock space; pictures in quantum theory; linear response; Green's functions, equations of motion for Green's functions; perturbation theory; Dyson equations, irreducible functions; Hartree-Fock approximation, correlation (Part II), conserving approximations.
Vielteilchenzustände und -operatoren; Hartree-Fock Näherung, Korrelation (Teil I); 2. Quantisierung, Fockraum; Bilder in der Quantenmechanik; Lineare Antwort; Greensfunktionen und ihre Bewegungsgleichungen; Störungstheorie; Dyson-Gleichung, irreduzible Funktionen; Hartree-Fock Näherung, Korrelation (Teil II); erhaltende Näherungen.

Lernergebnisse/Kompetenzziele

In this module students acquire a basic understanding of many-particle wave functions and operators, as well as of standard methods for studying the properties of many-particle systems. In particular, students become familiar with the fundamental differences between single- and many-particle systems (Pauli and Coulomb correlation) and make first contact with alternatives to the Schrödinger equation for dealing with quantum systems. In the tutorial students learn to translate the general many-body formalism to specific systems and gain versatility in explicitly calculating many-body matrix elements and Green's functions.
The course is fully self-contained and emphasizes the structural and formal aspects of many-particle theory, rather than particular many-body systems. It is directly based on the mandatory theory courses *Theoretische Physik I-IV* and does not require additional preparation. Explicit examples are drawn from electronic structure theory, the material is, however, also relevant for atomic, molecular and nuclear physics. The module prepares students for attending more advanced theory courses which then lead to research projects in this field.
Die Studierenden entwickeln ein grundlegendes Verständnis für Vielteilchenwellenfunktionen und -operatoren, sowie für Standardmethoden zur Untersuchung der Eigenschaften von Vielteilchensystemen. Insbesondere sind die Studierenden mit den fundamentalen Unterschieden zwischen Ein- und Vielteilchensystemen (Pauli und Coulomb-Korrelation) vertraut und kommen erstmals mit Alternativen zur direkten Lösung der Schrödinger-Gleichung bei der Diskussion von Quantensystemen in Kontakt. In den Übungen lernen die Studierenden, den allgemeinen Vielteilchenformalismus auf spezifische Problemstellungen zu übersetzen und gewinnen Erfahrung mit der Berechnung von Vielteilchenmatrixelementen sowie Greensfunktionen.
Dieser Kurs ist in sich abgeschlossen und betont die strukturellen und formalen Aspekte des Vielteilchenformalismus, weniger dagegen die Physik konkreter Vielteilchensysteme. Er basiert unmittelbar auf den Pflichtmodulen *Theoretische Physik I-IV*, darüber hinausgehende Vorkenntnisse sind nicht erforderlich. Explizite Beispiele entstammen dem Gebiet der Elektronenstrukturtheorie, das Material der Vorlesung ist aber ebenso relevant in den Bereichen Atom-, Molekül- und Kernphysik. Das Modul bereitet Studierende auf die Teilnahme an fortgeschrittenen Lehrveranstaltungen in diesen Fachgebieten vor.

Teilnahmevoraussetzungen für Modul bzw. einzelne Veranstaltungen des Moduls

keine

Empfohlene Vorkenntnisse

elementary quantum mechanics (single-particle wavefunctions, operators, Schrödinger equation, boundary conditions, spin, Coulomb interaction); basic elements of functional analysis (Hilbert space, complete and orthonormal basis sets).
elementare Quantenmechanik (1-Teilchen-Wellenfunktionen, Operatoren, Schrödinger-Gleichung, Randbedingungen, Spin, Coulomb-Wechselwirkung); Grundelemente der Funktionalanalysis (Hilbertraum, vollständige und orthonormale Basen).

Zuordnung (Studiengang/Fachbereich)	BSc Physik, MSc Physik / FB Physik
Verwendbarkeit	BSc Physik, MSc Physik
Zugehörigkeit zu Schwerpunkten	AKT
Häufigkeit des Angebots	unregelmäßig
Dauer	einsemestrig
Modulbeauftragte / Modulbeauftragter	Engel
Studiennachweise / Prüfungsvorleistungen	
Teilnahmenachweise	regelmäßige Teilnahme an den Übungen
Leistungsnachweise	erfolgreiche Bearbeitung von in der Regel wöchentlichen Übungsaufgaben
Prüfungsvorleistungen	Erbringen aller Leistungsnachweise
Lehr- / Lernformen	Vorlesung, Übung
Unterrichts- / Prüfungssprache	Englisch oder Deutsch
Modulprüfung	
Modulabschlussprüfung, benotet	
bestehend aus:	mündliche Prüfung (ca. 30 Min.) oder Klausur (90 Min.)

Lehrveranstaltungen des Moduls	LV-Form	SWS	CP	Pf/WP	Semester					
					1	2	3	4	5	6
Introduction to Quantum Many-Particle Theory	V+Ü	2.5+1.5	5	Pf					X	X
Summe		4	5							

VMSDA	Modern Statistical Data Analysis for Practitioners	Wahlpflicht-modul	5 CP (insg.) = 150 h		4 SWS
			Kontaktstudium 4 SWS / 60 h	Selbststudium 90 h	

Inhalte

We introduce the basics of probability theory, classical statistics, and classical error analysis (p-values, confidence intervals), which serves as the starting point to explore modern methods of statistics (Maximum Likelihood, Bayes). We use these methods to extract information from noisy data through (non-)linear parameter estimation (fitting) and model comparison. We show how to analyze data containing dynamical information by time series analysis (correlation functions, error analysis) and Markov-Chain models and kinetic models described by rate equations.

Lernergebnisse/Kompetenzziele

The overarching goal is to equip the students with the necessary statistical tools to extract information from noisy data reliably and with quantified uncertainties. The students should be able to identify the common pitfalls of statistical data analysis in their own work and be able to critically assess the quality of published data and statistical analyses. These goals will be practiced in the practical course on real world examples.

Teilnahmevoraussetzungen für Modul bzw. einzelne Veranstaltungen des Moduls

keine

Empfohlene Vorkenntnisse

Basic knowledge of physics and mathematics. Any experience in programming and Linux OS.

Zuordnung (Studiengang/Fachbereich)	MSc Biophysik / FB Physik
Verwendbarkeit	BSc Biophysik, MSc Biophysik, BSc Physik, MSc Physik
Zugehörigkeit zu Schwerpunkten	BIN COM
Häufigkeit des Angebots	unregelmäßig
Dauer	einsemestrig
Modulbeauftragte / Modulbeauftragter	Hummer
Studiennachweise / Prüfungsvorleistungen	
Teilnahmenachweise	regelmäßige Teilnahme an den Übungen
Leistungsnachweise	erfolgreiche Bearbeitung von in der Regel wöchentlichen Übungsaufgaben
Prüfungsvorleistungen	Erbringen aller Leistungsnachweise
Lehr- / Lernformen	Vorlesung, Übung
Unterrichts- / Prüfungssprache	Englisch
Modulprüfung	
Modulabschlussprüfung, benotet	
bestehend aus:	mündliche Prüfung (ca. 30 Min.) oder Klausur (90 Min.)

Lehrveranstaltungen des Moduls	LV-Form	SWS	CP	Pf/WP	Semester					
					1	2	3	4	5	6
Modern Statistical Data Analysis for Practitioners	V+Ü	2.5+1.5	5	Pf					X	
Summe		4	5							

VMQT	**Prinzipien moderner Quantentechnologien** (Principles of Modern Quantum Technology)	Wahlpflicht-modul	5 CP (insg.) = 150 h		4 SWS
			Kontaktstudium 4 SWS / 60 h	Selbststudium 90 h	

Inhalte

- Grundlagen: Streutheorie, Zwei-Niveau-System, Bloch-Kugel,
- Quantentransport (Coulomb-Blockade, Quantenpunkte, Cooper-Pair-Box)
- Quantensensoren (Rastersondenmikroskopie, Spin-Echo, NV-Zentren in Diamant, Einzelelektronen-transistor)
- Quantencomputing (Funktionsweise, Qubitrealisierungen, Qubitoperationen, Dekohärenz)
- Quantenteleportation
- Quantensimulation
- Licht-Materie-Wechselwirkung (Exzitonen, Polaritonen, Cavity QED)

Lernergebnisse/Kompetenzziele

Einerseits werden die Studierenden wichtige Themen der aktuellen Forschung zu Quantentechnologien verstehen und wesentliche Prinzipien von Quantentechnologien erklären können. Sie können die Möglichkeiten und Grenzen der experimentellen Realisierung kontrollierbarer Quantensysteme einschätzen. Auf diese Weise werden die Studierenden auf experimentelle oder theoretische Abschlussarbeiten auf dem Gebiet der kondensierten Materie vorbereitet. Außerdem lernen sie wichtige Anwendungen von physikalischen Phänomenen (z.B. Supraleitung, Transport) kennen, die in anderen Modulen tiefergehend behandelt werden. Andererseits lernen die Studierenden effiziente Methoden zur effektiven Beschreibung von Niedrigenergieanregungen in komplexen Systemen kennen (z.B. Zwei-Niveau-Systeme, Streutheorie für Quantentransport), wobei auf Vielteilchentheorie größtenteils verzichtet wird. Dadurch entwickeln sie ein phänomenologisches Verständnis und sind in der Lage komplexe physikalische Effekte mit einfachen Modellen zu erklären.

Teilnahmevoraussetzungen für Modul bzw. einzelne Veranstaltungen des Moduls

keine

Empfohlene Vorkenntnisse

Inhalte der Module *Theoretische Physik 1–4* und grundlegende Kentnisse in Festkörperphysik (z.B. aus dem Modul *Experimentalphysik 4b*).

Zuordnung (Studiengang/Fachbereich)	BSc Physik, MSc Physik / FB Physik
Verwendbarkeit	BSc Physik, MSc Physik
Zugehörigkeit zu Schwerpunkten	KMQ
Häufigkeit des Angebots	unregelmäßig
Dauer	einsemestrig
Modulbeauftragte / Modulbeauftragter	Pientka
Studiennachweise / Prüfungsvorleistungen	
Teilnahmenachweise	regelmäßige Teilnahme an den Übungen

Leistungsnachweise	erfolgreiche Bearbeitung von in der Regel wöchentlichen Übungsaufgaben
Prüfungsvorleistungen	Erbringen aller Leistungsnachweise
Lehr- / Lernformen	Vorlesung, Übung
Unterrichts- / Prüfungssprache	Deutsch oder Englisch
Modulprüfung	
Modulabschlussprüfung, benotet	
bestehend aus:	mündliche Prüfung (ca. 30 Min.) oder Klausur (90 Min.)

Lehrveranstaltungen des Moduls	LV-Form	SWS	CP	Pf/WP	Semester					
					1	2	3	4	5	6
Prinzipien moderner Quantentechnologien (Principles of Modern Quantum Technology)	V+Ü	2.5+1.5	5	Pf					X	X
Summe		4	5							

VGIQ	**Grundlagen und Interpretationen der Quantenmechanik** (Foundations and Interpretations of Quantum Mechanics)	Wahlpflicht-modul	4 CP (insg.) = 120 h		3 SWS
			Kontaktstudium 3 SWS / 45 h	Selbststudium 75 h	

Inhalte

Teil I: Probleme und Paradoxien der Quantenmechanik:

1.) Das Problem des quantenmechanischen Messprozesses: Schrödinger's Katze, versteckte Variablen

2.) Das Problem der Lokalität: verschiedene Versionen des Einstein-Podolski-Rosen Arguments, Kausalität

3.) Das Problem der Ontologie: komplexe Zahlen und Realität, was bedeutet die Wellenfunktion?

Teil II: Verschiedene Interpretationen der Quantenmechanik:

4.) Die Kopenhagener Interpretation (Bohr, Heisenberg)

5.) Pilot-Wellen Theorie (De Broglie, Bohm)

6.) Spontane Kollaps Theorie (Girardi, Rimini, Weber)

7.) Viele-Welten Interpretation (Everett)

Teil III: Weitere Themen:

8.) Bellsche Ungleichungen und deren experimentelle Überprüfung

9.) Dekohärenz

10.) Quanten Zeno Effekt

11.) Spielt Gravitation eine Rolle beim Kollaps der Wellenfunktion (Penrose)?

Lernergebnisse/Kompetenzziele

In der einführenden Theorie-Vorlesung zur Quantenmechanik (Theoretische Physik 4) werden üblicherweise Fragen nach der Bedeutung und der Interpretation der Quantenmechanik mit Hilfe der auf Bohr und Heisenberg zurückgehenden "Kopenhagener Interpretation" relativ kurz beantwortet — stattdessen stehen Anwendungen des Formalismus auf konkrete physikalische Probleme im Vordergrund. Bei vielen Studierenden bleibt auch nach dieser einführenden Quantenmechanik-Vorlesung der Wunsch, die wirkliche Bedeutung der Quantenmechanik etwas tiefer zu verstehen. Die Ziele das Moduls "Grundlagen der Quantenmechanik" sind:

a) Studierende erkennen die Probleme und Paradoxien der etablierten Kopenhagener Interpretation der Quantenmechanik.

b) Studierende kennen verschiedene in den vergangenen Jahrzehnten vorgeschlagene alternative Interpretationen und Erweiterungen der Quantenmechanik.

c) Studierende kennen die wichtigsten Original-Arbeiten zu diesem Thema und verstehen deren Motivation und Inhalt.

Idealerweise sollte dieses Modul direkt im Anschluss an die einführende Vorlesung *Theor. Physik 4: Quantenmechanik* (Modul VTH4) absolviert werden.

Teilnahmevoraussetzungen für Modul bzw. einzelne Veranstaltungen des Moduls	
keine	
Empfohlene Vorkenntnisse	
Vorlesung Theoretische Physik 4: Quantenmechanik	
Zuordnung (Studiengang/Fachbereich)	BSc Physik, MSc Physik / FB Physik
Verwendbarkeit	BSc Physik, MSc Physik
Zugehörigkeit zu Schwerpunkten	AKT AKO KMQ COM BIN
Häufigkeit des Angebots	unregelmäßig
Dauer	einsemestrig
Modulbeauftragte / Modulbeauftragter	Kopietz
Studiennachweise / Prüfungsvorleistungen	
Teilnahmenachweise	regelmäßige Teilnahme an den Übungen
Leistungsnachweise	erfolgreiche Bearbeitung von in der Regel wöchentlichen Übungsaufgaben
Prüfungsvorleistungen	Erbringen aller Leistungsnachweise
Lehr- / Lernformen	Vorlesung, Übung
Unterrichts- / Prüfungssprache	Deutsch
Modulprüfung	
Modulabschlussprüfung, benotet	
bestehend aus:	mündliche Prüfung (ca. 30 Min.) oder Klausur (90 Min.)

Lehrveranstaltungen des Moduls	LV-Form	SWS	CP	Pf/WP	Semester					
					1	2	3	4	5	6
Grundlagen und Interpretationen der Quantenmechanik (Foundations and Interpretations of Quantum Mechanics)	V+Ü	2+1	4	Pf					X	
Summe		3	4							

4.2 Astrophysik und Kosmologie

VHYMAG	**Hydrodynamics and Magnetohydrodynamics**	Wahlpflicht-modul	6 CP (insg.) = 180 h		4 SWS
			Kontaktstudium 4 SWS / 60 h	Selbststudium 120 h	

Inhalte

On the fluid approximation, Newtonian kinetic theory, The Boltzmann equation, The H-theorem, The moment equations, The Maxwell-Boltzmann equilibrium distribution, The zero-order approximation: perfect fluids, The first-order approximation: non-perfect fluids, Relativistic kinetic theory, The relativistic Boltzmann equation, Relativistic transport fluxes, The relativistic moment equations, The general-relativistic hydrodynamic equations, Relativistic equilibrium distributions, The laws of thermodynamics, Equations of state, Kinematic properties of fluids, Kinematic shear, expansion and vorticity, Evolution laws of the kinematic quantities, Mass current and energy-momentum of perfect fluids, Hydrodynamics equations of perfect fluids, Stationary flows, Bernoulli's theorem, Irrotational flows, Vorticity, Irrotational flows, Kelvin-Helmholtz theorem, Isentropic flows, Hyperbolic systems of partial differential equations, Quasi-linear formulation, Conservative formulation, Linear and nonlinear behaviour, Characteristic equations for linear systems, Riemann invariants, Characteristic curves and caustics, Domain of determinacy and region of influence, Linear hydrodynamic waves, Sound waves, Nonlinear hydrodynamic waves, Simple waves and discontinuous waves, Rarefaction waves, Shock waves, Contact discontinuities, The Riemann problem, Introduction to plasmas, The magnetohydrodynamic equations, Flux-freezing condition, Magnetohydrostatic solutions, Hydromagnetic waves, Magnetic reconnection.

Lernergebnisse/Kompetenzziele

At the end of the course the students will have been exposed to the basic concept of modern hydrodynamics and magnetohydrodynamics. Furthermore, with the discussion of the mathematical and computational techniques employed in the solution of the equations of hydrodynamics and magnetohydrodynamics, the students will be able to carry out quantitative studies employing the solution of these equations. Overall, the material in the course will provide all the necessary background for a successful research work in plasma physics and relativistic astrophysics.

Teilnahmevoraussetzungen für Modul bzw. einzelne Veranstaltungen des Moduls

keine

Empfohlene Vorkenntnisse

Classical Mechanics

Zuordnung (Studiengang/Fachbereich)	BSc Physik, MSc Physik / FB Physik
Verwendbarkeit	BSc Physik, MSc Physik
Zugehörigkeit zu Schwerpunkten	AKO
Häufigkeit des Angebots	jährlich
Dauer	einsemestrig
Modulbeauftragte / Modulbeauftragter	Rezzolla
Studiennachweise / Prüfungsvorleistungen	
Teilnahmenachweise	regelmäßige Teilnahme an den Übungen
Leistungsnachweise	erfolgreiche Bearbeitung von in der Regel wöchentlichen Übungsaufgaben

Prüfungsvorleistungen	Erbringen aller Leistungsnachweise									
Lehr- / Lernformen	Vorlesung, Übung									
Unterrichts- / Prüfungssprache	Englisch									
Modulprüfung										
Modulabschlussprüfung, benotet bestehend aus:	mündliche Prüfung (ca. 30 Min.) oder Klausur (90 Min.)									
Lehrveranstaltungen des Moduls	LV-Form	SWS	CP	Pf/WP	Semester					
					1	2	3	4	5	6
Hydrodynamics and Magnetohydrodynamics	V+Ü	3+1	6	Pf						X
Summe		4	6							

VARTC	**Allgemeine Relativitätstheorie mit dem Computer** (General Theory of Relativity on the Computer)	Wahlpflicht-modul	5 CP (insg.) = 150 h		4 SWS
			Kontaktstudium 4 SWS / 60 h	Selbststudium 90 h	

Inhalte

In diesem Modul werden die mathematisch anspruchsvollen Gleichungen der Allgemeinen Relativitätstheorie (ART) in diversen Programmierumgebungen analysiert. Im ersten Teil des Kurses erlernen die Studierenden die Verwendung von Computeralgebra-Systemen (Maple und Mathematica). Die oft komplizierten und zeitaufwendigen Berechnungen der tensoriellen Gleichungen der ART können mit Hilfe dieser Programme erleichtert werden. Diverse Anwendungen der Einstein- und Geodätengleichung werden in Maple implementiert, quasi analytische Berechnungen durchgeführt und entsprechende Lösungen berechnet und visualisiert. Der zweite Teil des Kurses befasst sich mit der numerischen Berechnung von Neutronensternen und Weißen Zwergen mittels eines C/C++ Programms. Nach einer kurzen Auffrischung der grundlegenden Programmierkenntnisse, erstellen die Studierenden, gemeinsam mit dem Betreuer, ein Programm, das die Tolman-Oppenheimer-Volkov-Gleichung numerisch löst und visualisieren die Ergebnisse. Zusätzlich wird hierbei in die Grundkonzepte der parallelen Programmierung eingeführt und eine MPI- und OpenMP-Version des C/C++ Programms erstellt. Im ditten Teil des Kurses werden zeitabhängige numerische Simulationen der ART mittels des Einstein Toolkit durchgeführt und deren Ergebnisse mittels Python/Matplotlib visualisiert. Inhaltlich wird hierbei ebenfalls auf den, dem Programm zugrunde liegenden (3+1)-Split der ART eingegangen und, abhängig von den Vorkenntnissen der Studierenden, mehrere fortgeschrittene, astrophysikalisch relevante Probleme simuliert. Mögliche Themen dieses abschließenden Teils könnten die folgenden Systeme darstellen: Oszillationen eines Neutronensterns, Kollaps eines Neutronenstern zu einem Schwarzen Loch oder die Kollision zweier Neutronensterne unter Berücksichtigung der Aussendung von Gravitationswellen. Der Schwerpunkt der gesamten Veranstaltung liegt sowohl auf der Allgemeine Relativitätstheorie als auch auf der Vermittlung spezieller Programmierkenntnisse.
Im speziellen werden die folgenden Themen behandelt: Kovariante Ableitung, Ricci- und Einstein-Tensor, Einsteinsche Feldgleichung, Geodätengleichung, Schwarzschild- und Kerr-Lösung, Raumzeitdiagramme in Schwarzschild und Eddington-Finkelstein Koordinaten, Penrose-Diagramme, Bewegung eines Teilchens um ein rotierendes schwarzes Loch, Herleitung der Tolman-Oppenheimer-Volkov-Gleichung, Weiße Zwerge, Neutronen- und Quarksterne, (3+1)-Split der ART, (Optional: Oppenheimer-Snyder-Collapse einer Staubwolke zu einem schwarzen Loch), Programmieren und Visualisieren in Maple, Mathematica und Python/Matplotlib, Programmieren in C/C++, paralleles Programmieren mit MPI und OpenMP, Grundlagen des Einstein Toolkit, numerische Simulationen auf dem Linux-basierte Rechen-Cluster FUCHS.

Lernergebnisse/Kompetenzziele

Nach Abschluss des Moduls verstehen die Studierenden die Allgemeine Relativitätstheorie besser, da sie in mehreren Anwendungsbeispielen die Eigenschaften der Raumzeitkrümmung und die Bewegung von Probekörpern und Licht in gekrümmter Raumzeit selbst mittels numerischer Rechnungen simuliert haben. Unter anderem können sie die Einsteinsche Feldgleichung und die Geodätengleichung auf nichtrotierende und rotierende schwarze Löcher anwenden, Raumzeitverformungen in kompakten Objekten analysieren und sie verstehen die aktuell in der Literatur diskutierten Gravitationswellendetektionen von Neutronenstern und schwarze Loch Kollisionen. Des weiteren beherrschen die Studierenden die Grundlagen der Programmierumgebungen bzw. Programmiersprachen Maple, Python/Matplotlib, C/C++, MPI, OpenMP und Einstein Toolkit.

Teilnahmevoraussetzungen für Modul bzw. einzelne Veranstaltungen des Moduls

keine

Empfohlene Vorkenntnisse

Grundlagen der Allgemeinen Relativitätstheorie, Programmierkenntnisse in einer numerischen Sprache, etwa Fortran, Java, C, C++

Zuordnung (Studiengang/Fachbereich)	BSc Physik, MSc Physik / FB Physik
Verwendbarkeit	BSc Physik, MSc Physik
Zugehörigkeit zu Schwerpunkten	AKO
Häufigkeit des Angebots	unregelmäßig
Dauer	einsemestrig
Modulbeauftragte / Modulbeauftragter	Rezzolla
Studiennachweise / Prüfungsvorleistungen	
Teilnahmenachweise	regelmäßige Teilnahme an den Übungen
Leistungsnachweise	erfolgreiche Durchführung einer Projektarbeit
Prüfungsvorleistungen	Erbringen aller Leistungsnachweise
Lehr- / Lernformen	Vorlesung, Übung
Unterrichts- / Prüfungssprache	Deutsch
Modulprüfung	
Modulabschlussprüfung, benotet	
bestehend aus:	mündliche Prüfung (ca. 30 Min.) oder Klausur (90 Min.)

Lehrveranstaltungen des Moduls	LV-Form	SWS	CP	Pf/WP	Semester					
					1	2	3	4	5	6
Allgemeine Relativitätstheorie mit dem Computer (General Theory of Relativity on the Computer)	V+Ü	2.5+1.5	5	Pf						X
Summe		4	5							

VASTBIO	**Astrobiologie** (Astrobiology)	Wahlpflicht-modul	6 CP (insg.) = 180 h		4 SWS
			Kontaktstudium 4 SWS / 60 h	Selbststudium 120 h	

Inhalte

Entstehung der Elemente, Chemie im Weltraum, Habitable Erde, Eigenschaften von Leben, Terrestrische Biochemie, Ursprung des Lebens, Leben im All, Exoplaneten

Lernergebnisse/Kompetenzziele

Dieses Modul vermittelt den Studierenden die Fähigkeiten,

- das Phänomen Leben im astrophysikalischen Kontext einzuordnen,
- die Enstehung des Lebens auf der Erde und im Universum gegenüber zu stellen,
- Bezüge zwischen den naturwissenschaftlichen Bereichen Chemie, Biologie, Geowissenschaften, Physik und Astrophysik herzustellen,
- die Komplexität der Definition von Leben zu verstehen,
- das Konzept der Habitabilität von Exoplaneten einzuordnen,
- die Frage der Zukunft des Lebens und der Möglichkeit des Lebens außerhalb der Erde zu untersuchen.

Teilnahmevoraussetzungen für Modul bzw. einzelne Veranstaltungen des Moduls

keine

Empfohlene Vorkenntnisse

keine

Zuordnung (Studiengang/Fachbereich)	BSc Physik, MSc Physik / FB Physik
Verwendbarkeit	BSc Physik, MSc Physik
Zugehörigkeit zu Schwerpunkten	AKO
Häufigkeit des Angebots	unregelmäßig
Dauer	einsemestrig
Modulbeauftragte / Modulbeauftragter	Schaffner-Bielich
Studiennachweise / Prüfungsvorleistungen	
Teilnahmenachweise	regelmäßige Teilnahme an den Übungen
Leistungsnachweise	erfolgreiche Bearbeitung von in der Regel wöchentlichen Übungsaufgaben
Prüfungsvorleistungen	Erbringen aller Leistungsnachweise
Lehr- / Lernformen	Vorlesung, Übung
Unterrichts- / Prüfungssprache	Deutsch
Modulprüfung	
Modulabschlussprüfung, benotet	
bestehend aus:	mündliche Prüfung (ca. 30 Min.) oder Klausur (90 Min.)

Lehrveranstaltungen des Moduls	LV-Form	SWS	CP	Pf/WP	Semester					
					1	2	3	4	5	6
Astrobiologie (Astrobiology)	V+Ü	3+1	6	Pf	X	X	X	X	X	X
Summe		4	6							

VGWAV	**Gravitationswellen** (Gravitational Waves)	Wahlpflicht-modul	6 CP (insg.) = 180 h		4 SWS
			Kontaktstudium 4 SWS / 60 h	Selbststudium 120 h	

Inhalte	
Einsteinsche Feldgleichungen, linearisierte Theorie der Allgemeinen Relativitätstheorie, Geometrischer Zugang zu Gravitationswellen, Feldtheoretischer Zugang zu Gravitationswellen, Erzeugung von Gravitationswellen in linearisierter Theorie, Anwendungen (binäre Systeme, rotierende Körper, freier Fall in Schwarze Löcher, beschleunigte Massen), experimentelle Beobachtung von Gravitationswellen	
Lernergebnisse/Kompetenzziele	
Die Studierenden lernen die Eigenschaften von Gravitationswellen der Allgemeinen Relativitätstheorie in einem geometrischen Zugang und komplementär innerhalb des Wellenbegriffes eines klassischen Feldes kennen. Sie können mögliche Quellen für die Produktion von Gravitationswellen benennen und einen Bezug zu astrophysikalischen Systemen herstellen. Sie verstehen die Prinzipien hinter der experimentellen Messung von Gravitationswellen und mögliche Methoden zur Detektion. Sie kennen die gegenwärtigen Beobachtungen von Gravitationswellen und wissen die Implikation dieser Messungen für die Eigenschaften von kompakten Objekten einzuschätzen.	
Teilnahmevoraussetzungen für Modul bzw. einzelne Veranstaltungen des Moduls	
keine	
Empfohlene Vorkenntnisse	
Theoretische Physik 1-3, Allgemeine Relativitätstheorie	
Zuordnung (Studiengang/Fachbereich)	BSc Physik, MSc Physik / FB Physik
Verwendbarkeit	BSc Physik, MSc Physik
Zugehörigkeit zu Schwerpunkten	AKO
Häufigkeit des Angebots	unregelmäßig
Dauer	einsemestrig
Modulbeauftragte / Modulbeauftragter	Schaffner-Bielich
Studiennachweise / Prüfungsvorleistungen	
Teilnahmenachweise	regelmäßige Teilnahme an den Übungen
Leistungsnachweise	erfolgreiche Bearbeitung von in der Regel wöchentlichen Übungsaufgaben
Prüfungsvorleistungen	Erbringen aller Leistungsnachweise
Lehr- / Lernformen	Vorlesung, Übung
Unterrichts- / Prüfungssprache	Deutsch oder Englisch
Modulprüfung	
Modulabschlussprüfung, benotet	
bestehend aus:	mündliche Prüfung (ca. 30 Min.) oder Klausur (90 Min.)

Lehrveranstaltungen des Moduls	LV-Form	SWS	CP	Pf/WP	Semester					
					1	2	3	4	5	6
Gravitationswellen (Gravitational Waves)	V+Ü	3+1	6	Pf					X	X
Summe		4	6							

4.3 Kern- und Elementarteilchenphysik

VSTATP	**Statistische Physik und kritische Phänomene** (Statistical Physics and Critical Phenomena)	Wahlpflicht-modul	6 CP (insg.) = 180 h		4 SWS
			Kontaktstudium 4 SWS / 60 h	Selbststudium 120 h	

Inhalte

1. Phasenübergänge und kritische Phänomene, Ginzburg-Landau-Theorie für Phasenübergänge
2. Ising-Modell und andere einfache Spinmodelle
3. Renormierungsgruppe
4. Monte-Carlo-Methoden

Lernergebnisse/Kompetenzziele

Aufbauend auf den Grundvorlesungen über Theoretische Physik vermittelt das Modul vertiefende Kenntnisse über Phasenübergänge. Am Ende des Moduls können die Studierenden zur Beschreibung von kritischen Phänomenen geeignete Modelle heranziehen und das Konzept der Universalität auf kritische Phänomene in allen Bereichen der Physik anwenden.

Teilnahmevoraussetzungen für Modul bzw. einzelne Veranstaltungen des Moduls

keine

Empfohlene Vorkenntnisse

siehe VQFT1 und VQFT2

Zuordnung (Studiengang/Fachbereich)	BSc Physik, MSc Physik / FB Physik
Verwendbarkeit	BSc Physik, MSc Physik
Zugehörigkeit zu Schwerpunkten	AKT
Häufigkeit des Angebots	unregelmäßig
Dauer	einsemestrig
Modulbeauftragte / Modulbeauftragter	Philipsen
Studiennachweise / Prüfungsvorleistungen	
Teilnahmenachweise	regelmäßige Teilnahme an den Übungen
Leistungsnachweise	erfolgreiche Bearbeitung von in der Regel wöchentlichen Übungsaufgaben
Prüfungsvorleistungen	Erbringen aller Leistungsnachweise
Lehr- / Lernformen	Vorlesung, Übung
Unterrichts- / Prüfungssprache	Deutsch
Modulprüfung	
Modulabschlussprüfung, benotet	
bestehend aus:	mündliche Prüfung (ca. 30 Min.) oder Klausur (90 Min.)

Lehrveranstaltungen des Moduls	LV-Form	SWS	CP	Pf/WP	Semester					
					1	2	3	4	5	6
Statistische Physik und kritische Phänomene (Statistical Physics and Critical Phenomena)	V+Ü	3+1	6	Pf					X	X
Summe		4	6							

VHYDRO	**Hydrodynamik und Transporttheorie** (Hydrodynamics and Transport Theory)	Wahlpflicht-modul	6 CP (insg.) = 180 h		4 SWS
			Kontaktstudium 4 SWS / 60 h	Selbststudium 120 h	

Inhalte

Hydrodynamik der idealen Flüssigkeiten; Schallwellen; Schock- und Verdünnungswellen; Zerfall der Unstetigkeit; selbstähnliche Lösungen; Zustandsgleichung hochverdichteter Materie; Phasengleichgewicht; Deflagrations- und Detonationswellen; Instabilitäten; Navier-Stokes-Gleichung; Wärme- und Strahlungstransport; kinetische Gastheorie; Einteilchen-Verteilungsfunktion; Boltzmann-Gleichung; Zweierstöße.
Hydrodynamics of ideal fluids; sound waves; shock and rarefaction waves; decay of discontinuity; self-similar solutions; equation of state of matter at high pressure; phase equilibrium; deflagration and detonation waves; instabilities; Navier-Stokes equation; heat and radiation transport; kinetic theory of gases; single-particle distribution function; Boltzmann equation; two-body collisions.

Lernergebnisse/Kompetenzziele

Das Modul vermittelt die Grundkonzepte der klassischen Strömungsmechanik als nichtlinearer Feldtheorie. Die Studierenden lernen die Grundgleichungen kennen und erwerben die Kompetenz, das Verhalten von Flüssigkeiten und Gasen unter verschiedenen Bedingungen zu beurteilen und in typische Lösungsklassen einzuordnen. In der Transporttheorie wird die fundamentale Einsicht vermittelt, wie aus einer reversiblen mikroskopischen Physik irreversibles makroskopisches Verhalten etwa in der Boltzmanngleichung entstehen kann und die Kompetenz erlangt, lokales und globales Gleichgewicht sowie Nichtgleichgewichtsprozesse zu erkennen.

Teilnahmevoraussetzungen für Modul bzw. einzelne Veranstaltungen des Moduls

keine

Empfohlene Vorkenntnisse

klassische Mechanik, Vektoranalysis

Zuordnung (Studiengang/Fachbereich)	BSc Physik, MSc Physik / FB Physik
Verwendbarkeit	BSc Physik, MSc Physik
Zugehörigkeit zu Schwerpunkten	AKT BEP
Häufigkeit des Angebots	unregelmäßig
Dauer	einsemestrig
Modulbeauftragte / Modulbeauftragter	Tauschwitz
Studiennachweise / Prüfungsvorleistungen	
Teilnahmenachweise	regelmäßige Teilnahme an den Übungen
Leistungsnachweise	erfolgreiche Bearbeitung von in der Regel wöchentlichen Übungsaufgaben
Prüfungsvorleistungen	Erbringen aller Leistungsnachweise
Lehr- / Lernformen	Vorlesung, Übung
Unterrichts- / Prüfungssprache	Deutsch oder Englisch
Modulprüfung	
Modulabschlussprüfung, benotet	
bestehend aus:	mündliche Prüfung (ca. 30 Min.) oder Klausur (90 Min.)

Lehrveranstaltungen des Moduls	LV-Form	SWS	CP	Pf/WP	Semester					
					1	2	3	4	5	6
Hydrodynamik und Transporttheorie (Hydrodynamics and Transport Theory)	V+Ü	3+1	6	Pf					X	X
Summe		4	6							

VSKTG1	**Von der Quantenfeldtheorie zu semiklassischen Transportgleichungen I: Vielteilchensysteme im thermischen Gleichgewicht**	Wahlpflicht-modul	5 CP (insg.) = 150 h		3 SWS
	(From quantum field theory to semi-classical transport equations I: many-body systems in equilibrium)		Kontaktstudium 3 SWS / 45 h	Selbststudium 105 h	

Inhalte

Beschreibung von Vielteilchensystemen mittels der relativistischen Quantenfeldtheorie; kanonische und Pfadintegral-Quantisierung relativistischer Feldtheorien; Statistischer Operator; thermodynamisches Gleichgewicht im Matsubara-Imaginärzeit- und Schwinger-Keldysh-Realzeitformalismus; Störungstheorie und nichtperturbative Methoden bei endlichen Temperaturen; Anwendung auf den chiralen Phasenübergang in der Schwerionenphysik

Lernergebnisse/Kompetenzziele

Die Studierenden

- beherrschen die grundlegenden Konzepte der relativistischen Quantenfeldtheorie,
- können den Formalismus auf Vielteilchensysteme im thermodynamischen Gleichgewicht anwenden,
- beherrschen mathematische Methoden zur perturbativen und nichtperturbativen Berechnung von Green-Funktionen im Matsubara- und Schwinger-Keldysh-Realzeitformalismus,
- beherrschen funktionale Methoden zur Regularisierung und Renormierung im 2PI-Formalismus,
- kennen die wichtigsten Anwendungen in der relativistischen Schwerionenphysik (Quark-Gluon-Plasma, Mediummodifikationen, chiraler Phasenübergang).

Teilnahmevoraussetzungen für Modul bzw. einzelne Veranstaltungen des Moduls

keine

Empfohlene Vorkenntnisse

Inhalt der Veranstaltungen *Theoretische Physik 1–5* und *Höhere Quantenmechanik*

Zuordnung (Studiengang/Fachbereich)	BSc Physik, MSc Physik / FB Physik
Verwendbarkeit	BSc Physik, MSc Physik
Zugehörigkeit zu Schwerpunkten	AKT
Häufigkeit des Angebots	unregelmäßig
Dauer	einsemestrig
Modulbeauftragte / Modulbeauftragter	van Hees
Studiennachweise / Prüfungsvorleistungen	
Teilnahmenachweise	keine
Leistungsnachweise	keine
Prüfungsvorleistungen	keine

Lehr- / Lernformen	Vorlesung									
Unterrichts- / Prüfungssprache	Deutsch									
Modulprüfung										
Modulabschlussprüfung, benotet										
bestehend aus:	mündliche Prüfung (ca. 30 Min.) oder Klausur (90 Min.)									
Lehrveranstaltungen des Moduls	LV-Form	SWS	CP	Pf/WP	Semester					
					1	2	3	4	5	6
Von der Quantenfeldtheorie zu semiklassischen Transportgleichungen I: Vielteilchensysteme im thermischen Gleichgewicht (From quantum field theory to semi-classical transport equations I: many-body systems in equilibrium)	V	3	5	Pf					X	
Summe		3	5							

VSKTG2	**Von der Quantenfeldtheorie zu semiklassischen Transportgleichungen II: Vielteilchensysteme im Nichtgleichgewicht**	Wahlpflicht-modul	5 CP (insg.) = 150 h		3 SWS
	(From quantum field theory to semi-classical transport equations II: many-body systems out of equilibrium)		Kontaktstudium 3 SWS / 45 h	Selbststudium 105 h	

Inhalte

Beschreibung von Vielteilchensystemen mittels der relativistischen Quantenfeldtheorie; Schwinger-Keldysh-Realzeitformalismus; Pfadintegral-Quantisierung relativistischer Feldtheorien; Kadanoff-Baym-Gleichungen; „Coarse-Graining“ und Gradientenentwicklung; Markov-Näherung; Quasiteilchennäherung; „Off-Shell-Transport“

Lernergebnisse/Kompetenzziele

Die Studierenden

- beherrschen die Grundlagen zur Beschreibung von Nichtgleichgewichtsprozessen im Schwinger-Keldysh-Realzeitformalismus,
- können relativistische semiklassische Transportgleichungen mittels Coarse-Graining"von Kadanoff-Baym-Gleichungen für Wigner-transformierte Green-Funktionen herleiten,
- verstehen den Zusammenhang mit relativistisch-hydrodynamischen Beschreibungen von Vielteilchensystemen,
- können die theoretischen Techniken auf die Beschreibung von relativistischen Schwerionenstößen anwenden.

Teilnahmevoraussetzungen für Modul bzw. einzelne Veranstaltungen des Moduls

keine

Empfohlene Vorkenntnisse

Inhalt der Veranstaltungen *Theoretische Physik 1–5* und *Höhere Quantenmechanik*

Zuordnung (Studiengang/Fachbereich)	BSc Physik, MSc Physik / FB Physik
Verwendbarkeit	BSc Physik, MSc Physik
Zugehörigkeit zu Schwerpunkten	AKT
Häufigkeit des Angebots	unregelmäßig
Dauer	einsemestrig
Modulbeauftragte / Modulbeauftragter	van Hees
Studiennachweise / Prüfungsvorleistungen	
Teilnahmenachweise	keine
Leistungsnachweise	keine
Prüfungsvorleistungen	keine
Lehr- / Lernformen	Vorlesung
Unterrichts- / Prüfungssprache	Deutsch

Modulprüfung										
Modulabschlussprüfung, benotet										
bestehend aus:	mündliche Prüfung (ca. 30 Min.) oder Klausur (90 Min.)									
Lehrveranstaltungen des Moduls	LV-Form	SWS	CP	Pf/WP	Semester					
					1	2	3	4	5	6
Von der Quantenfeldtheorie zu semiklassischen Transportgleichungen II: Vielteilchensysteme im Nichtgleichgewicht (From quantum field theory to semi-classical transport equations II: many-body systems out of equilibrium)	V	3	5	Pf						X
Summe		3	5							

VKT4A	**Kern- und Teilchenphysik 4a: Elektromagnetische Sonden der subatomaren Materie**	Wahlpflicht-modul	5 CP (insg.) = 150 h		3 SWS
	(Nuclear and Particle Physics 4a: Electromagentic Probes of Sub-atomic Matter)		Kontaktstudium 3 SWS / 45 h	Selbststudium 105 h	

Inhalte

Photonselbstenergie, Elekronenstreuung, Paarvernichtung, zeitartige/raumartige Photonen, Parton-Verteilungsfunktionen, elektro-magnetische Formfaktoren, Dalitz-Zerfälle, Übergangsformfaktoren von Hadronen, In-Medium Spektralfunktionen von Hadronen, thermische Photonen, Di-Leptonen.

Lernergebnisse/Kompetenzziele

Die Studierenden erwerben vertiefte Kenntnisse in einem Spezialgebiet der Hochenergie-Kernphysik. In diesem wird eine Übersicht über den aktuellen Stand und die Methoden gegeben. Das erworbene Fachwissen ist bei der Anfertigung von Bachelor- und Master-Arbeiten in diesem Fachgebiet von Wichtigkeit.

Teilnahmevoraussetzungen für Modul bzw. einzelne Veranstaltungen des Moduls

keine

Empfohlene Vorkenntnisse

Grundkenntnisse der Kern- und Teilchenphysik: Kernmodelle, Kernkräfte, Nukleon-Nukleon-Wechselwirkung, relativistische Kinematik, Quark-Modell, Formfaktoren des Protons, Strukturfunktionen, Partonstruktur, QCD-Phänomenologie, Farbfreiheitsgrade, Gluonen, laufende Kopplung, Quarkonia, Baryonen und leichte Mesonen.

Zuordnung (Studiengang/Fachbereich)	BSc Physik / FB Physik
Verwendbarkeit	BSc Physik
Zugehörigkeit zu Schwerpunkten	AKT
Häufigkeit des Angebots	unregelmäßig
Dauer	einsemestrig
Modulbeauftragte / Modulbeauftragter	Blume
Studiennachweise / Prüfungsvorleistungen	
Teilnahmenachweise	keine
Leistungsnachweise	keine
Prüfungsvorleistungen	keine
Lehr- / Lernformen	Vorlesung
Unterrichts- / Prüfungssprache	Deutsch
Modulprüfung	
Modulabschlussprüfung, benotet	
bestehend aus:	mündliche Prüfung (ca. 30 Min.) oder Klausur (90 Min.)

Lehrveranstaltungen des Moduls	LV-Form	SWS	CP	Pf/WP	Semester					
					1	2	3	4	5	6
Kern- und Teilchenphysik 4a: Elektromagnetische Sonden der subatomaren Materie (Nuclear and Particle Physics 4a: Electromagentic Probes of Subatomic Matter)	V	3	5	WP						X
Summe		3	5							

VKT4B	**Kern- und Teilchenphysik 4b: Physik des Quark-Gluon Plasmas**	Wahlpflicht-modul	5 CP (insg.) = 150 h		3 SWS
	(Nuclear and Particle Physics 4b: Physics of the Quark-Gluon-Plasma)		Kontaktstudium 3 SWS / 45 h	Selbststudium 105 h	

Inhalte	
Das Phasendiagramm der Quanten-Chromo Dynamik, Experimente der ultra-relativistischen Schwerionenphysik, Reaktionsdynamik und globale Observablen, Sonden des Quark-Gluon Plasmas: Seltsame Teilchen, Jets, Photonen und J/ψ	
Lernergebnisse/Kompetenzziele	
Die Studierenden erwerben vertiefte Kenntnisse in einem Spezialgebiet der Hochenergie-Kernphysik. In diesem wird eine Übersicht über den aktuellen Stand und die Methoden gegeben. Das erworbene Fachwissen ist bei der Anfertigung von Bachelor- und Master-Arbeiten in diesem Fachgebiet von Wichtigkeit.	
Teilnahmevoraussetzungen für Modul bzw. einzelne Veranstaltungen des Moduls	
keine	
Empfohlene Vorkenntnisse	
Grundkenntnisse der Kern- und Teilchenphysik: Kernmodelle, Kernkräfte, Nukleon-Nukleon-Wechselwirkung, relativistische Kinematik, Quark-Modell, Formfaktoren des Protons, Strukturfunktionen, Partonstruktur, QCD-Phänomenologie, Farbfreiheitsgrade, Gluonen, laufende Kopplung, Quarkonia, Baryonen und leichte Mesonen.	
Zuordnung (Studiengang/Fachbereich)	BSc Physik / FB Physik
Verwendbarkeit	BSc Physik
Zugehörigkeit zu Schwerpunkten	AKT
Häufigkeit des Angebots	unregelmäßig
Dauer	einsemestrig
Modulbeauftragte / Modulbeauftragter	Blume
Studiennachweise / Prüfungsvorleistungen	
Teilnahmenachweise	keine
Leistungsnachweise	keine
Prüfungsvorleistungen	keine
Lehr- / Lernformen	Vorlesung
Unterrichts- / Prüfungssprache	Deutsch
Modulprüfung	
Modulabschlussprüfung, benotet	
bestehend aus:	mündliche Prüfung (ca. 30 Min.) oder Klausur (90 Min.)

Lehrveranstaltungen des Moduls	LV-Form	SWS	CP	Pf/WP	Semester					
					1	2	3	4	5	6
Kern- und Teilchenphysik 4b: Physik des Quark-Gluon Plasmas (Nuclear and Particle Physics 4b: Physics of the Quark-Gluon-Plasma)	V	3	5	WP						X
Summe		3	5							

VKT4C	**Kern- und Teilchenphysik 4c: Resonanzphysik der Hadronen**	Wahlpflicht-modul	5 CP (insg.) = 150 h		3 SWS
	(Nuclear and Particle Physics 4c: Hadronic Resonances)		Kontaktstudium 3 SWS / 45 h	Selbststudium 105 h	

Inhalte

QCD-Bindungszustände (klassische, angeregte und exotische Systeme); Reaktionsmechanismen (Produktion und Zerfall von Hadronen); Statisches Quarkmodell und SU(3) und die Konsequenzen; Realistische Quarkmodelle; Analysemethoden und Systematik (sehr ausführlich); Experimente zur Hadronenspektroskopie (gestern, heute und morgen)

Lernergebnisse/Kompetenzziele

Die Studierenden erwerben vertiefte Kenntnisse in einem Spezialgebiet der Hadronphysik. In diesem wird eine Übersicht über den aktuellen Stand und die Methoden gegeben. Das erworbene Fachwissen ist bei der Anfertigung von Bachelor- und Master-Arbeiten in diesem Fachgebiet von Wichtigkeit.

Teilnahmevoraussetzungen für Modul bzw. einzelne Veranstaltungen des Moduls

keine

Empfohlene Vorkenntnisse

Grundkenntnisse der Kern- und Teilchenphysik: Kernmodelle, Kernkräfte, Nukleon-Nukleon-Wechselwirkung, relativistische Kinematik, Quark-Modell, Formfaktoren des Protons, Strukturfunktionen, Partonstruktur, QCD-Phänomenologie, Farbfreiheitsgrade, Gluonen, laufende Kopplung, Quarkonia, Baryonen und leichte Mesonen.

Zuordnung (Studiengang/Fachbereich)	BSc Physik / FB Physik
Verwendbarkeit	BSc Physik
Zugehörigkeit zu Schwerpunkten	AKT
Häufigkeit des Angebots	unregelmäßig
Dauer	einsemestrig
Modulbeauftragte / Modulbeauftragter	Blume
Studiennachweise / Prüfungsvorleistungen	
Teilnahmenachweise	keine
Leistungsnachweise	keine
Prüfungsvorleistungen	keine
Lehr- / Lernformen	Vorlesung
Unterrichts- / Prüfungssprache	Deutsch
Modulprüfung	
Modulabschlussprüfung, benotet	
bestehend aus:	mündliche Prüfung (ca. 30 Min.) oder Klausur (90 Min.)

Lehrveranstaltungen des Moduls	LV-Form	SWS	CP	Pf/WP	Semester					
					1	2	3	4	5	6
Kern- und Teilchenphysik 4c: Resonanzphysik der Hadronen (Nuclear and Particle Physics 4c: Hadronic Resonances)	V	3	5	WP						X
Summe		3	5							

VKT4D	**Kern- und Teilchenphysik 4d: Physik schwerer Quarks und Quarkonia**	Wahlpflicht-modul	5 CP (insg.) = 150 h		3 SWS
	(Nuclear and Particle Physics 4d: Physics of Heavy Quarks and Quarkonia)		Kontaktstudium 3 SWS / 45 h	Selbststudium 105 h	

Inhalte

Produktionsprozesse schwerer Quarks (pQCD), Hadronen mit schweren Quarks (D/B Mesonen, Baryonen und Quarkonia), Verteilungsfunktion, Flavoroszillationen, nicht-relativistische Schrödingergleichung, Zerfälle, experimentelle Messungen, theoretische Modelle (FONLL,CSM,CEM,NRQCD) und Simulationen (PYTHIA,POWHEG) in Nukleon-Nukleon Kollisionen, Energieverlust und Thermalisierung schwerer Quarks im QGP, Unterdrückung und Regeneration von Quarkonia im QGP.

Lernergebnisse/Kompetenzziele

Die Studierenden erwerben vertiefte Kenntnisse in einem Spezialgebiet der Hochenergie-Kernphysik. In diesem wird eine Übersicht über den aktuellen Stand und die Methoden gegeben. Das erworbene Fachwissen ist bei der Anfertigung von Bachelor- und Master-Arbeiten in diesem Fachgebiet von Wichtigkeit.

Teilnahmevoraussetzungen für Modul bzw. einzelne Veranstaltungen des Moduls

keine

Empfohlene Vorkenntnisse

Grundkenntnisse der Kern- und Teilchenphysik: Kernmodelle, Kernkräfte, Nukleon-Nukleon-Wechselwirkung, relativistische Kinematik, Quark-Modell, Formfaktoren des Protons, Strukturfunktionen, Partonstruktur, QCD-Phänomenologie, Farbfreiheitsgrade, Gluonen, laufende Kopplung, Quarkonia, Baryonen und leichte Mesonen.

Zuordnung (Studiengang/Fachbereich)	BSc Physik / FB Physik
Verwendbarkeit	BSc Physik
Zugehörigkeit zu Schwerpunkten	AKT
Häufigkeit des Angebots	unregelmäßig
Dauer	einsemestrig
Modulbeauftragte / Modulbeauftragter	Blume
Studiennachweise / Prüfungsvorleistungen	
Teilnahmenachweise	keine
Leistungsnachweise	keine
Prüfungsvorleistungen	keine
Lehr- / Lernformen	Vorlesung
Unterrichts- / Prüfungssprache	Deutsch
Modulprüfung	
Modulabschlussprüfung, benotet	
bestehend aus:	mündliche Prüfung (ca. 30 Min.) oder Klausur (90 Min.)

Lehrveranstaltungen des Moduls	LV-Form	SWS	CP	Pf/WP	Semester					
					1	2	3	4	5	6
Kern- und Teilchenphysik 4d: Physik schwerer Quarks und Quarkonia (Nuclear and Particle Physics 4d: Physics of Heavy Quarks and Quarkonia)	V	3	5	WP						X
Summe		3	5							

VKT4E	**Kern- und Teilchenphysik 4e: Strangeness in Schwerionenkollisionen**	Wahlpflicht-modul	5 CP (insg.) = 150 h		3 SWS
	(Nuclear and Particle Physics 4e: Strangeness in Heavy-Ion Collisions)		Kontaktstudium 3 SWS / 45 h	Selbststudium 105 h	

Inhalte

Strangeness als Signatur für das Quark-Gluon-Plasma, schwache Zerfälle, Identifikation von Teilchen, Hadronenproduktion im statistischen-thermischen Modell, Strangeness-Enhancement bzw. Alternativen (Energie- und Multiplizitätsabhängigkeit), Kaon-Nukleon-Potential, Kaonen in Kernen und kaonische Atome, Hyperkerne, Transportmodelle, Kaonische Cluster, Strangeness-Produktion unterhalb der Schwelle.

Lernergebnisse/Kompetenzziele

Die Studierenden erwerben vertiefte Kenntnisse in einem Spezialgebiet der Hochenergie-Kernphysik. In diesem wird eine Übersicht über den aktuellen Stand und die Methoden gegeben. Das erworbene Fachwissen ist bei der Anfertigung von Bachelor- und Master-Arbeiten in diesem Fachgebiet von Wichtigkeit.

Teilnahmevoraussetzungen für Modul bzw. einzelne Veranstaltungen des Moduls

keine

Empfohlene Vorkenntnisse

Grundkenntnisse der Kern- und Teilchenphysik: Kernmodelle, Kernkräfte, Nukleon-Nukleon-Wechselwirkung, relativistische Kinematik, Quark-Modell, Formfaktoren des Protons, Strukturfunktionen, Partonstruktur, QCD-Phänomenologie, Farbfreiheitsgrade, Gluonen, laufende Kopplung, Quarkonia, Baryonen und leichte Mesonen.

Zuordnung (Studiengang/Fachbereich)	BSc Physik / FB Physik
Verwendbarkeit	BSc Physik
Zugehörigkeit zu Schwerpunkten	AKT
Häufigkeit des Angebots	unregelmäßig
Dauer	einsemestrig
Modulbeauftragte / Modulbeauftragter	Blume
Studiennachweise / Prüfungsvorleistungen	
Teilnahmenachweise	keine
Leistungsnachweise	keine
Prüfungsvorleistungen	keine
Lehr- / Lernformen	Vorlesung
Unterrichts- / Prüfungssprache	Deutsch
Modulprüfung	
Modulabschlussprüfung, benotet	
bestehend aus:	mündliche Prüfung (ca. 30 Min.) oder Klausur (90 Min.)

Lehrveranstaltungen des Moduls	LV-Form	SWS	CP	Pf/WP	Semester					
					1	2	3	4	5	6
Kern- und Teilchenphysik 4e: Strangeness in Schwerionenkollisionen (Nuclear and Particle Physics 4e: Strangeness in Heavy-Ion Collisions)	V	3	5	WP						X
Summe		3	5							

VKT4F	**Kern- und Teilchenphysik 4f: Das Higgs-Boson** (Nuclear and Particle Physics 4f: Higgs-Boson)	Wahlpflicht-modul	5 CP (insg.) = 150 h		3 SWS
			Kontaktstudium 3 SWS / 45 h	Selbststudium 105 h	

Inhalte

Standardmodell, lokale Eichinvarianz, spontane Symmetriebrechung, Higgs-Mechanismus. Experimentelle Suche nach dem Higgs, relevante Beschleuniger und Detektoren, indirekter und direkter Nachweis.

Lernergebnisse/Kompetenzziele

Die Studierenden erwerben vertiefte Kenntnisse in einem Spezialgebiet der Hochenergie-Kernphysik. In diesem wird eine Übersicht über den aktuellen Stand und die Methoden gegeben. Das erworbene Fachwissen ist bei der Anfertigung von Bachelor- und Master-Arbeiten in diesem Fachgebiet von Wichtigkeit.

Teilnahmevoraussetzungen für Modul bzw. einzelne Veranstaltungen des Moduls

keine

Empfohlene Vorkenntnisse

Grundkenntnisse der Teilchenphysik: fundamentale Wechselwirkungen (insbesondere schwache Wechselwirkung), Quarks und Leptonen, relativistische Kinematik, Symmetrien, Paritäts- und CP-Verletzung, Quarkmischungen

Zuordnung (Studiengang/Fachbereich)	BSc Physik / FB Physik
Verwendbarkeit	BSc Physik
Zugehörigkeit zu Schwerpunkten	AKT
Häufigkeit des Angebots	unregelmäßig
Dauer	einsemestrig
Modulbeauftragte / Modulbeauftragter	Blume
Studiennachweise / Prüfungsvorleistungen	
Teilnahmenachweise	keine
Leistungsnachweise	keine
Prüfungsvorleistungen	keine
Lehr- / Lernformen	Vorlesung
Unterrichts- / Prüfungssprache	Deutsch
Modulprüfung	
Modulabschlussprüfung, benotet	
bestehend aus:	mündliche Prüfung (ca. 30 Min.) oder Klausur (90 Min.)

Lehrveranstaltungen des Moduls	LV-Form	SWS	CP	Pf/WP	Semester					
					1	2	3	4	5	6
Kern- und Teilchenphysik 4f: Das Higgs-Boson (Nuclear and Particle Physics 4f: Higgs-Boson)	V	3	5	WP						X
Summe		3	5							

VDRIDE	Physik von Driftdetektoren (Physics of Drift Detectors)	Wahlpflicht-modul	5 CP (insg.) = 150 h		4 SWS
			Kontaktstudium 4 SWS / 60 h	Selbststudium 90 h	

Inhalte

Grundlagen von Ionisation durch geladene Teilchen in Gasen, Photo-Absorptions Ionisations Modell, Energieverlustfluktuationen, Elektronen- und Ionendrift in elektrischen und magnetischen Feldern, Gasverstärkung, Signaleinkopplung, Positionsmessung. Teilchenidentifizierung durch Messung des spezifischen mittleren Energieverlusts. Impulsbestimmung im Magnetfeld. Statistische und systematische Limitierungen in realen Detektoren. Methoden zur Kalibrierung von großen Driftdetektoren.

Lernergebnisse/Kompetenzziele

Detaillierte Kenntnis der relevanten physikalischen Phänomene versetzt Studierende in die Lage, eigenständig reale Driftdetektorsysteme zu entwerfen und im Rahmen von Monte-Carlo Studien zu optimieren. Die Studierenden erlangen ein Verständnis für die komplexen Kalibrierungsschritte großvolumiger Detektoren.
Das Modul bereitet Studierende für die Arbeit an kernphysikalischen Großexperimenten vor. Simulation, Entwicklung, Kalibrierung und Analyse von Driftdetektordaten sind typische Elemente von Bachelor-, Master-, und Doktorarbeiten auf diesem Gebiet.

Teilnahmevoraussetzungen für Modul bzw. einzelne Veranstaltungen des Moduls

keine

Empfohlene Vorkenntnisse

Inhalt der Lehrveranstaltungen *Experimentalphysik 3* und *Experimentalphysik 4A*

Zuordnung (Studiengang/Fachbereich)	BSc Physik, MSc Physik / FB Physik
Verwendbarkeit	BSc Physik, MSc Physik
Zugehörigkeit zu Schwerpunkten	AKT
Häufigkeit des Angebots	unregelmäßig
Dauer	einsemestrig
Modulbeauftragte / Modulbeauftragter	Appelshäuser
Studiennachweise / Prüfungsvorleistungen	
Teilnahmenachweise	regelmäßige Teilnahme an den Übungen
Leistungsnachweise	erfolgreiche Bearbeitung von in der Regel wöchentlichen Übungsaufgaben
Prüfungsvorleistungen	Erbringen aller Leistungsnachweise
Lehr- / Lernformen	Vorlesung, Übung
Unterrichts- / Prüfungssprache	Deutsch oder Englisch
Modulprüfung	
Modulabschlussprüfung, benotet	
bestehend aus:	mündliche Prüfung (ca. 30 Min.) oder Klausur (90 Min.)

Lehrveranstaltungen des Moduls	LV-Form	SWS	CP	Pf/WP	Semester					
					1	2	3	4	5	6
Physik von Driftdetektoren (Physics of Drift Detectors)	V+Ü	2.5+1.5	5	Pf					X	
Summe		4	5							

4.4 Physik der Kondensierten Materie

VQMPT	**Vielteilchenphysik** (Many-body physics)	Wahlpflicht-modul	8 CP (insg.) = 240 h		6 SWS
			Kontaktstudium 6 SWS / 90 h	Selbststudium 150 h	

Inhalte	
Zweite Quantisierung, Vielteilchen-Modellsysteme, Greensche Funktionen, Diagrammatische Störungstheorie für $T = 0$ und $T > 0$, Random-Phase Approximation, Leiter-Näherung	
Lernergebnisse/Kompetenzziele	
Die Studierenden lernen die grundlegenden Methoden der Vielteilchen-Theorie, um eigenständig auf dem Gebiet der Vielteilchenphysik arbeiten zu können.	
Teilnahmevoraussetzungen für Modul bzw. einzelne Veranstaltungen des Moduls	
keine	
Empfohlene Vorkenntnisse	
Inhalt der Veranstaltungen *Theoretische Physik 1–5*	
Zuordnung (Studiengang/Fachbereich)	BSc Physik, MSc Physik / FB Physik
Verwendbarkeit	BSc Physik, MSc Physik
Zugehörigkeit zu Schwerpunkten	KMQ
Häufigkeit des Angebots	unregelmäßig
Dauer	einsemestrig
Modulbeauftragte / Modulbeauftragter	Kopietz
Studiennachweise / Prüfungsvorleistungen	
Teilnahmenachweise	regelmäßige Teilnahme an den Übungen
Leistungsnachweise	erfolgreiche Bearbeitung von in der Regel wöchentlichen Übungsaufgaben
Prüfungsvorleistungen	Erbringen aller Leistungsnachweise
Lehr- / Lernformen	Vorlesung, Übung
Unterrichts- / Prüfungssprache	Deutsch
Modulprüfung	
Modulabschlussprüfung, benotet	
bestehend aus:	mündliche Prüfung (ca. 30 Min.) oder Klausur (90 Min.)

Lehrveranstaltungen des Moduls	LV-Form	SWS	CP	Pf/WP	Semester 1	2	3	4	5	6
Vielteilchenphysik (Many-body physics)	V+Ü	4+2	8	Pf						X
Summe		6	8							

VFSTATP	**Fortgeschrittene Statistische Physik: Nichtgleichgewicht, kritische Phänomene und Renormierungsgruppe**	Wahlpflicht-modul	8 CP (insg.) = 240 h		6 SWS
	(Advanced Statistical Physics: Non-equilibrium, Critical Phenomena, and Renormalization Group)		Kontaktstudium 6 SWS / 90 h	Selbststudium 150 h	

Inhalte

Im ersten Teil der Vorlesung werden die grundlegenden Methoden und Gleichungen der statistischen Physik im Nicht-Gleichgewicht hergeleitet und diskutiert. Im zweiten Teil wird die Theorie der Renormierungsgruppe entwickelt und auf die Berechnung kritischer Phänomene angewandt.

Lernergebnisse/Kompetenzziele

Die folgenden Themen der Nicht-Gleichgewichts Statistischen Physik werden behandelt: Langevin-Gleichungen, Fokker-Planck Gleichungen, Master-Gleichungen, Kinetik klassischer Gase, Boltzmann-Gleichung, Navier-Stokes Gleichung. Anschließend werden kritischen Phänomene am Beispiel der Ising-Universalitätsklasse eingeführt und das Skalenverhalten in der Nähe des kritischen Punktes erklärt. Es folgt eine Einführung in die Wilsonsche Renormierungsgruppen-Methode. Schließlich wird die Funktionale Renormierungsgruppe entwickelt.
Mit den in diesem Modul erworbenen Kenntnissen können die Studierenden viele aktuelle Forschungsthemen im Bereich der statistischen Physik und der wechselwirkenden Vielteilchensysteme verstehen. Die Vorlesung kann begleitend zur Anfertigung einer Bachelor- oder Masterarbeit auf diesen Gebieten gehört werden.

Teilnahmevoraussetzungen für Modul bzw. einzelne Veranstaltungen des Moduls

keine

Empfohlene Vorkenntnisse

Inhalt der Veranstaltungen *Theoretische Physik 1–5*

Zuordnung (Studiengang/Fachbereich)	BSc Physik, MSc Physik / FB Physik
Verwendbarkeit	BSc Physik, MSc Physik
Zugehörigkeit zu Schwerpunkten	KMQ AKT
Häufigkeit des Angebots	unregelmäßig
Dauer	einsemestrig
Modulbeauftragte / Modulbeauftragter	Kopietz
Studiennachweise / Prüfungsvorleistungen	
Teilnahmenachweise	regelmäßige Teilnahme an den Übungen
Leistungsnachweise	erfolgreiche Bearbeitung von in der Regel wöchentlichen Übungsaufgaben
Prüfungsvorleistungen	Erbringen aller Leistungsnachweise
Lehr- / Lernformen	Vorlesung, Übung
Unterrichts- / Prüfungssprache	Deutsch oder Englisch

Modulprüfung										
Modulabschlussprüfung, benotet										
bestehend aus:	mündliche Prüfung (ca. 30 Min.) oder Klausur (90 Min.)									
Lehrveranstaltungen des Moduls	LV-Form	SWS	CP	Pf/WP	Semester					
					1	2	3	4	5	6
Fortgeschrittene statistische Physik: Nichtgleichgewicht, kritische Phänomene und Renormierungsgruppe (Advanced Statistical Physics: Non-equilibrium, Critical Phenomena, and Renormalization Group)	V+Ü	4+2	8	Pf						X
Summe		6	8							

VDFT	**Density Functional Theory**	Wahlpflicht-modul	5 CP (insg.) = 150 h		3 SWS
			Kontaktstudium 3 SWS / 45 h	Selbststudium 105 h	

Inhalte

Hohenberg-Kohn theorem, interacting v-representability, spin/current-density functional theory, Kohn-Sham equations, noninteracting v-representability, exact exchange, virial theorems, adiabatic connection, local density approximation (LDA), (meta) generalized gradient approximation, LDA+U, orbital-dependent functionals, relativistic density functional theory (optionally: time-dependent density functional theory)

Lernergebnisse/Kompetenzziele

In this module students are trained for doing research in the field of computational electronic structure theory. Both the complete theoretical background of one of the standard methods in this field, density functional theory, and more practical aspects are covered. In particular, students learn to distinguish the various aspects of electron correlation. Prototype results from a variety of fields illustrate the merits and limitations of density functional theory. As a result of this course, students understand the significance and implications of various approximations and are able to operate standard density functional codes. Students are ready for pursuing a bachelor's or master's project in this field.

Teilnahmevoraussetzungen für Modul bzw. einzelne Veranstaltungen des Moduls

keine

Empfohlene Vorkenntnisse

required knowledge: basic elements of many-particle quantum mechanics (wavefunctions, operators, Schrödinger equation, Coulomb interaction, Hartree-Fock approximation, 2nd quantization, field operators);
recommended knowledge: basic elements of Green's function approach to many-particle systems (1-particle propagator, response functions, Dyson equation, irreducible functions, Feynman diagrams); (semi)relativistic quantum mechanics (Pauli equation, Dirac equation)
recommended for preparation: course *Introduction to Quantum Many-Particle Theory*

Zuordnung (Studiengang/Fachbereich)	BSc Physik, MSc Physik / FB Physik
Verwendbarkeit	BSc Physik, MSc Physik, MSc Biophysik
Zugehörigkeit zu Schwerpunkten	KMQ BIN
Häufigkeit des Angebots	unregelmäßig
Dauer	einsemestrig
Modulbeauftragte / Modulbeauftragter	Engel
Studiennachweise / Prüfungsvorleistungen	
Teilnahmenachweise	keine
Leistungsnachweise	keine
Prüfungsvorleistungen	keine
Lehr- / Lernformen	Vorlesung
Unterrichts- / Prüfungssprache	Englisch
Modulprüfung	
Modulabschlussprüfung, benotet	
bestehend aus:	mündliche Prüfung (ca. 30 Min.) oder Klausur (90 Min.)

Lehrveranstaltungen des Moduls	LV-Form	SWS	CP	Pf/WP	Semester					
					1	2	3	4	5	6
Density Functional Theory	V	3	5	Pf						X
Summe		3	5							

VQMD	Quantum Molecular Dynamics	Wahlpflicht-modul	5 CP (insg.) = 150 h		3 SWS
			Kontaktstudium 3 SWS / 45 h	Selbststudium 105 h	

Inhalte

Born-Oppenheimer approximation; density functional theory (Hohenberg-Kohn theorem, Kohn-Sham equations, local density approximation, generalized gradient approximation, time-dependent density functional theory); Born- Oppenheimer versus Car-Parrinello dynamics; iterative diagonalization; optimization techniques (steepest descent, conjugate gradient dynamics, variable metric method); global energy minimization (Metropolis algorithm, Markov chains, dynamical simulated annealing); pseudopotentials; quantum molecular dynamics for periodic systems; Kleinman-Bylander transformation; supercell concept

Lernergebnisse/Kompetenzziele

This module provides a bridge between the electronic structure of atoms, familiar to students from the standard course(s) on quantum mechanics, and the electronic structure of molecules and solids. The course addresses both the fundamental physics involved as well as the theoretical concepts and computational techniques required for efficiently dealing with such systems. Students become familiar with the relevant lengths, time and energy scales, with the notion of hybridization and delocalization of states, and with the Born-Oppenheimer approximation. In addition, students make first contact with "counterintuitive" approaches, such as the pseudopotential approximation or the simulation of the Schrödinger equation by another differential equation. They learn about the interplay between the equations of motion and discretization. In this way students are trained to think more creatively about the representation of physics in terms of equations.
The course is directly based on the mandatory theory courses *Theoretische Physik I-IV*. It is highly self-contained, preparation of students by attending additional courses e.g. in condensed matter theory is not required. The module prepares students for pursuing bachelor's or master's projects in computational electronic structure theory.

Teilnahmevoraussetzungen für Modul bzw. einzelne Veranstaltungen des Moduls

keine

Empfohlene Vorkenntnisse

basic understanding of (a) classical electrodynamics (Coulomb forces, multipole expansion); (b) quantum mechanics of many-electron systems (wavefunctions, Schrödinger equation, spin, Pauli principle, 2nd quantization); (c) atomic physics (electronic structure, energetics)

Zuordnung (Studiengang/Fachbereich)	BSc Physik, MSc Physik / FB Physik
Verwendbarkeit	BSc Physik, MSc Physik, BSc Biophysik, MSc Biophysik
Zugehörigkeit zu Schwerpunkten	KMQ COM BIN
Häufigkeit des Angebots	unregelmäßig
Dauer	einsemestrig
Modulbeauftragte / Modulbeauftragter	Engel
Studiennachweise / Prüfungsvorleistungen	
Teilnahmenachweise	keine
Leistungsnachweise	keine
Prüfungsvorleistungen	keine
Lehr- / Lernformen	Vorlesung

Unterrichts- / Prüfungssprache	Englisch									
Modulprüfung										
Modulabschlussprüfung, benotet										
bestehend aus:	mündliche Prüfung (ca. 30 Min.) oder Klausur (90 Min.)									
Lehrveranstaltungen des Moduls	LV-Form	SWS	CP	Pf/WP	Semester					
					1	2	3	4	5	6
Quantum Molecular Dynamics	V	3	5	Pf					X	X
Summe		3	5							

VEFRG	**Einführung in die Funktionale Renormierungsgruppe** (Introduction to the functional renormalization group)	Wahlpflicht-modul	8 CP (insg.) = 240 h		6 SWS
			Kontaktstudium 6 SWS / 90 h	Selbststudium 150 h	

Inhalte

In diesem Modul wird eine systematische Einführung in die Theorie der Funktionalen Renormierungsgruppe gegeben. Die folgenden Themen werden behandelt:

1. Das Konzept der Renormierungsgruppe
2. Phasenübergänge und Skalenhypothese
3. Molekularfeld-Theorie und Gauß'sche Näherung
4. Die Wilsonsche Renormierungsgruppe
5. Kritische Exponenten des Ising-Modells in der Nähe von 4 Dimensionen
6. Funktional-Methoden
7. Exakte Renormierungsgruppen Flussgleichungen
8. Vertex-Entwicklung
9. Gradienten-Entwicklung
10. Anwendungen auf Vielteilchensysteme (Fermionen, Bosonen, Spinsysteme).

Lernergebnisse/Kompetenzziele

Die Studierenden erwerben in diesem Modul ein grundlegendes Verständnis der Idee der Renormierungsgruppe und ihrer modernen Formulierung durch formal exakte Flussgleichungen für erzeugende Funktionale. Die Studierenden sollen dabei die Fähigkeit erwerben, eigenständig Renormierungsgruppenmethoden zur Lösung physikalischer Probleme einzusetzen.

Teilnahmevoraussetzungen für Modul bzw. einzelne Veranstaltungen des Moduls

keine

Empfohlene Vorkenntnisse

Module: Quantenmechanik (VTH4) und Thermodynamik und Statistische Physik (VTH5)

Zuordnung (Studiengang/Fachbereich)	BSc Physik, MSc Physik / FB Physik
Verwendbarkeit	BSc Physik, MSc Physik
Zugehörigkeit zu Schwerpunkten	KMQ
Häufigkeit des Angebots	unregelmäßig
Dauer	einsemestrig
Modulbeauftragte / Modulbeauftragter	Kopietz
Studiennachweise / Prüfungsvorleistungen	
Teilnahmenachweise	regelmäßige Teilnahme an den Übungen
Leistungsnachweise	erfolgreiche Bearbeitung von in der Regel wöchentlichen Übungsaufgaben

Prüfungsvorleistungen	Erbringen aller Leistungsnachweise									
Lehr- / Lernformen	Vorlesung, Übung									
Unterrichts- / Prüfungssprache	Deutsch									
Modulprüfung										
Modulabschlussprüfung, benotet										
bestehend aus:	mündliche Prüfung (ca. 30 Min.) oder Klausur (90 Min.)									
Lehrveranstaltungen des Moduls	LV-Form	SWS	CP	Pf/WP	Semester					
					1	2	3	4	5	6
Einführung in die Funktionale Renormierungsgruppe (Introduction to the functional renormalization group)	V+Ü	4+2	8	Pf						X
Summe		6	8							

VTSM	**Topological States of Matter** (Topologische Zustände der Materie)	Wahlpflicht-modul	5 CP (insg.) = 150 h		4 SWS
			Kontaktstudium 4 SWS / 60 h	Selbststudium 90 h	

Inhalte

This module gives an overview over the field of topological phenomena in condensed matter systems.

- Geometry and topology of band structures and their physical implications (e.g., modern versions of the semiclassical equations of motion or the electric polarization).
- Discussion of a variety of topological phases, including topological insulators in 2d and 3d, topological superconductors and Majorana states, topological metals (e.g., Weyl semimetals), quantum Hall systems and spin liquids.
- Topological protection: effects of disorder and interactions.
- Special emphasis on experimental observations such as the detection of topological edge modes as well as novel applications.

Lernergebnisse/Kompetenzziele

The module prepares students for a thesis in condensed matter physics with a focus on topological phases.

- Students will have the ability to understand state-of-the-art research on topological phases and work on theoretical research projects in this field.
- Students will learn about physical manifestations of topology in condensed matter systems and how to detect them in experiments.
- Students will become familiar with different theoretical techniques for characterizing topological states of matter: Berry curvature, energy band crossings, twisted boundary conditions, scattering theory, semiclassical equations of motion.
- Students will be able to understand the power and limitations of simplified model Hamiltonians for understanding and predicting experimental observations.

Teilnahmevoraussetzungen für Modul bzw. einzelne Veranstaltungen des Moduls

keine

Empfohlene Vorkenntnisse

Elementary quantum mechanics and some basic knowledge in solid-state physics (Bloch theorem, band structures). The course will not require very technical calculations but focus on general concepts and simple theoretical approaches.

Zuordnung (Studiengang/Fachbereich)	BSc Physik, MSc Physik / FB Physik
Verwendbarkeit	BSc Physik, MSc Physik
Zugehörigkeit zu Schwerpunkten	KMQ
Häufigkeit des Angebots	unregelmäßig
Dauer	einsemestrig
Modulbeauftragte / Modulbeauftragter	Pientka
Studiennachweise / Prüfungsvorleistungen	
Teilnahmenachweise	regelmäßige Teilnahme an den Übungen

Leistungsnachweise	erfolgreiche Bearbeitung von in der Regel wöchentlichen Übungsaufgaben
Prüfungsvorleistungen	Erbringen aller Leistungsnachweise
Lehr- / Lernformen	Vorlesung, Übung
Unterrichts- / Prüfungssprache	Englisch oder Deutsch
Modulprüfung	
Modulabschlussprüfung, benotet	
bestehend aus:	mündliche Prüfung (ca. 30 Min.) oder Klausur (90 Min.)

Lehrveranstaltungen des Moduls	LV-Form	SWS	CP	Pf/WP	Semester					
					1	2	3	4	5	6
Topological States of Matter	V+Ü	2.5+1.5	5	Pf					X	X
Summe		4	5							

4.5 Atomphysik und Quantenoptik

VUKQG	**Quanteninformation und Ultrakalte Atome** (Quantum Information and Ultracold Atoms)	Wahlpflicht-modul	8 CP (insg.) = 240 h		6 SWS
			Kontaktstudium 6 SWS / 90 h	Selbststudium 150 h	

Inhalte

Suprafluidität und Bose-Kondensation, Theorie wechselwirkender Bosonen (Bogoliubov, Gross-Pitaevskii), Quantenstatistik und Hanbury-Brown-Twiss Experiment, optische Gitter, Mott-Übergang, Bloch-Oszillationen, fermionische Kondensate und BCS-Theorie, Grundlagen der Quanteninformationstheorie, Bell'sche Ungleichung und Quantenteleportation, Verschränkung und Entropie, Quantenkryptographie, Schumacher-Codierungstheorem, Holevo-Bound, Quantenparallelismus und Quantencomputing, Grover-Algorithmus, Quanten-Fouriertransformation, Shor-Algorithmus, Quantenfehlerkorrektur

Lernergebnisse/Kompetenzziele

In diesem Modul lernen die Studierenden zentrale Themen der modernen Quantenphysik sowie ihre Anwendungen in der Quanteninformationsverarbeitung und dem Quantencomputing kennen. Die Vorlesung ist daher auch interessant als Vorbereitung für eine spätere Master/Bachelor Arbeit auf diesem Gebiet. Nach Absolvieren des Moduls kennen Studierende die Grundlagen der Quanten-Informationsverarbeitung und wichtige Algorithmen des Quantencomputing, beispielsweise den Shor-Algorithmus zur effizienten Faktorisierung großer Zahlen. Studierende können selbst Quanten-Schaltkreise entwerfen und auf Quantencomputern (z.B. IBM Quantum Experience) implementieren. Studierende kennen wichtige Anwendungen der quantenmechanischen Verschränkung wie die Quantenteleportation oder Quantenkryptographie, und sie können die Übertragung und Kompression von klassischer und quantenmechanischer Information in Quantenkanälen beschreiben. Studierende können wechselwirkende Quantenvielteilchensysteme theoretisch modellieren und ihre Quantenphasen und Dynamik beschreiben, insbesondere im Hinblick auf moderne Realisierungen in ultrakalten Quantensimulatoren.

Teilnahmevoraussetzungen für Modul bzw. einzelne Veranstaltungen des Moduls

keine

Empfohlene Vorkenntnisse

Inhalt der Veranstaltungen *Experimentalphysik 1–4*, *Theoretische Physik 1–5*, insbesondere zentrale Konzepte der Quantenmechanik (Schrödinger-Gleichung, Hilbertraum, Observablen) und der statistischen Physik (Dichteoperator, Ensembles, Temperatur, Entropie).

Zuordnung (Studiengang/Fachbereich)	BSc Physik, MSc Physik / FB Physik
Verwendbarkeit	BSc Physik, MSc Physik
Zugehörigkeit zu Schwerpunkten	KMQ
Häufigkeit des Angebots	unregelmäßig
Dauer	einsemestrig
Modulbeauftragte / Modulbeauftragter	Hofstetter
Studiennachweise / Prüfungsvorleistungen	
Teilnahmenachweise	regelmäßige Teilnahme an den Übungen
Leistungsnachweise	erfolgreiche Bearbeitung von in der Regel wöchentlichen Übungsaufgaben
Prüfungsvorleistungen	Erbringen aller Leistungsnachweise
Lehr- / Lernformen	Vorlesung, Übung

Unterrichts- / Prüfungssprache	Deutsch oder Englisch									
Modulprüfung										
Modulabschlussprüfung, benotet										
bestehend aus:	mündliche Prüfung (ca. 30 Min.) oder Klausur (90 Min.)									
Lehrveranstaltungen des Moduls	LV-Form	SWS	CP	Pf/WP	Semester					
					1	2	3	4	5	6
Quanteninformation und Ultrakalte Atome (Quantum Information and Ultracold Atoms)	V+Ü	4+2	8	Pf						X
Summe		6	8							

VTHQO	**Theoretical Quantum Optics**	Wahlpflicht-modul	8 CP (insg.) = 240 h		6 SWS
			Kontaktstudium 6 SWS / 90 h	Selbststudium 150 h	

Inhalte

Quantisierung und Kohärenzeigenschaften des elektromagnetischen Feldes, squeezed States, Phasenraumdarstellungen, Wigner-Funktion, Quantenmechanik offener Systeme, Lindblad- und Fokker-Planck-Gleichung, Quanten-Markov-Prozesse, Dekohärenz und Theorie der Messung, Quanteninformationsverarbeitung mit quantenoptischen Systemen, Cavity QED, Theorie des Lasers, Lichtkräfte, ultrakalte Quantengase

Lernergebnisse/Kompetenzziele

In diesem Modul lernen die Studierenden zentrale Themen der modernen Quantenoptik kennen. Die Vorlesung ist daher auch interessant als Vorbereitung für eine spätere Master/Bachelor Arbeit auf diesem Gebiet. Nach Absolvieren des Moduls können Studierende quantisierte elektromagnetische Felder und ihre Kohärenzeigenschaften theoretisch beschreiben, unter anderem mit semiklassischen Methoden (Phasenraumdarstellungen). Sie beherrschen die semiklassische und die quantisierte Beschreibung von stark wechselwirkenden Ensembles aus Atomen und Licht mit Hilfe des Rabi- und des Jaynes-Cummings-Modells. Studierende kennen Anwendungen quantenoptischer Systeme für Quantencomputing, beispielsweise in Ionenfallen. Studierende können offene Quantensysteme modellieren und ihre zeitliche Dynamik berechnen, beispielsweise mittels Quantenoperationen und der Lindblad-Mastergleichung. Studierende kennen das Phänomen der Dekohärenz und seine Bedeutung für den quantenmechanischen Messprozess. Sie sind mit Anwendungen quantenoptischer Konzepte, beispielsweise Lichtkräften, in ultrakalten Quantensimulatoren vertraut.

Teilnahmevoraussetzungen für Modul bzw. einzelne Veranstaltungen des Moduls

keine

Empfohlene Vorkenntnisse

Inhalt der Veranstaltungen *Experimentalphysik 1–4*, *Theoretische Physik 1–4*, insbesondere zentrale Konzepte der Quantenmechanik (Schrödinger-Gleichung, Hilbertraum, Observablen)

Zuordnung (Studiengang/Fachbereich)	BSc Physik, MSc Physik / FB Physik
Verwendbarkeit	BSc Physik, MSc Physik
Zugehörigkeit zu Schwerpunkten	KMQ
Häufigkeit des Angebots	unregelmäßig
Dauer	einsemestrig
Modulbeauftragte / Modulbeauftragter	Hofstetter
Studiennachweise / Prüfungsvorleistungen	
Teilnahmenachweise	regelmäßige Teilnahme an den Übungen
Leistungsnachweise	erfolgreiche Bearbeitung von in der Regel wöchentlichen Übungsaufgaben
Prüfungsvorleistungen	Erbringen aller Leistungsnachweise
Lehr- / Lernformen	Vorlesung, Übung
Unterrichts- / Prüfungssprache	Englisch

Modulprüfung										
Modulabschlussprüfung, benotet										
bestehend aus:	mündliche Prüfung (ca. 30 Min.) oder Klausur (90 Min.)									
Lehrveranstaltungen des Moduls	LV-Form	SWS	CP	Pf/WP	Semester					
					1	2	3	4	5	6
Theoretische Quantenoptik (Theoretical Quantum Optics)	V+Ü	4+2	8	Pf					X	X
Summe		6	8							

4.6 Plasmaphysik

VTHPLAS	**Theoretische Plasmaphysik** (Theoretical Plasma Physics)	Wahlpflicht-modul	6 CP (insg.) = 180 h		4 SWS
			Kontaktstudium 4 SWS / 60 h	Selbststudium 120 h	

Inhalte	
Grundlagen, Bewegung von Teilchen in elektromagnetischen Feldern, Wellen in Plasmen, Zweistrom-Instabilität, Fokker-Planck-Gleichung; Magnetohydrodynamik: Feldkonfigurationen, Wellen, Instabilitäten; stochastische Prozesse, Wechselwirkung von Teilchen mit Wellen; numerische Methoden.	
Lernergebnisse/Kompetenzziele	
Das Modul gibt einen elementaren Überblick über das theoretische Verständnis der Plasmen, ausgehend von der Bewegung von Teilchen in elektromagnetischen Feldern über kollektive Effekte bis hin zu Instabilitäten. Es hilft beim Zugang zu theoretischen und experimentellen Arbeiten im Bereich der Labor- und astrophysikalischen Plasmen. Die Studenten erwerben ein grundlegendes Wissen über Vielteilcheneffekte in hochgradig nichtlinearen Situationen. Sie lernen, numerische Verfahren zu beurteilen und die Möglichkeit ihrer Anwendung in anderen Bereichen kritisch zu beurteilen.	
Teilnahmevoraussetzungen für Modul bzw. einzelne Veranstaltungen des Moduls	
keine	
Empfohlene Vorkenntnisse	
Grundlagen der Theorie der Mechanik der Punktteilchen, der elementaren Hydrodynamik, und der elektromagnetischen Felder und Wellen.	
Zuordnung (Studiengang/Fachbereich)	BSc Physik, MSc Physik / FB Physik
Verwendbarkeit	BSc Physik, MSc Physik
Zugehörigkeit zu Schwerpunkten	BEP
Häufigkeit des Angebots	unregelmäßig
Dauer	einsemestrig
Modulbeauftragte / Modulbeauftragter	Jacoby
Studiennachweise / Prüfungsvorleistungen	
Teilnahmenachweise	regelmäßige Teilnahme an den Übungen
Leistungsnachweise	erfolgreiche Bearbeitung von in der Regel wöchentlichen Übungsaufgaben
Prüfungsvorleistungen	Erbringen aller Leistungsnachweise
Lehr- / Lernformen	Vorlesung, Übung
Unterrichts- / Prüfungssprache	Deutsch
Modulprüfung	
Modulabschlussprüfung, benotet	
bestehend aus:	mündliche Prüfung (ca. 30 Min.) oder Klausur (90 Min.)

Lehrveranstaltungen des Moduls	LV-Form	SWS	CP	Pf/WP	Semester					
					1	2	3	4	5	6
Theoretische Plasmaphysik (Theoretical Plasma Physics)	V+Ü	3+1	6	Pf					X	
Summe		4	6							

4.7 Neurowissenschaften

VRLEARN	**Reinforcement Learning**	Wahlpflicht-modul	6 CP (insg.) = 180 h		4 SWS
			Kontaktstudium 4 SWS / 60 h	Selbststudium 120 h	

Inhalte

Markov Decision Processes, Dynamic Programming, Monte Carlo Methods, Temporal Difference Learning, Value Functions, Bellman Equations, Function Approximation, Policy Gradient Methods, Deep Reinforcement Learning, Connection to Psychology and Neuroscience, Applications

Lernergebnisse/Kompetenzziele

Dieses Modul bietet eine Einführung in die Theorie und Praxis des Gebiets Reinforcement Learning (Verstärkungslernen). Nach Absolvieren des Moduls sind die Studierenden in der Lage, selbstständig gegebene Probleme durch Anwendung geeigneter Lernalgorithmen zu lösen:

- Die Studierenden kennen alle wesentlichen Konzepte und Fachbegriffe und verstehen deren inhaltliche Zusammenhänge.
- Die Studierenden können Problemstellungen thematisch einordnen und mit den vermittelten Methoden analysieren.
- Die Studierenden können weiterführende Informationen zu einer gegebenen Fragestellung in Fachliteratur und Internet recherchieren.
- Die Studierenden können aktuelle wissenschaftliche Publikationen verstehen und wiedergeben.
- Die Studierenden besitzen das theoretische und praktische Rüstzeug, um ein gegebenes Problem selbstständig zu untersuchen und durch Anwendung geeigneter Algorithmen zu lösen.

Teilnahmevoraussetzungen für Modul bzw. einzelne Veranstaltungen des Moduls

keine

Empfohlene Vorkenntnisse

Grundkenntnisse in Wahrscheinlichkeitstheorie und Statistik

Zuordnung (Studiengang/Fachbereich)	BSc Physik, MSc Physik / FB Physik
Verwendbarkeit	BSc Physik, MSc Physik
Zugehörigkeit zu Schwerpunkten	BIN COM
Häufigkeit des Angebots	zweijährlich
Dauer	einsemestrig
Modulbeauftragte / Modulbeauftragter	Triesch
Studiennachweise / Prüfungsvorleistungen	
Teilnahmenachweise	regelmäßige Teilnahme an den Übungen
Leistungsnachweise	erfolgreiche Bearbeitung von in der Regel wöchentlichen Übungsaufgaben
Prüfungsvorleistungen	Erbringen aller Leistungsnachweise
Lehr- / Lernformen	Vorlesung, Übung

Unterrichts- / Prüfungssprache	Englisch									
Modulprüfung										
Modulabschlussprüfung, benotet										
bestehend aus:	mündliche Prüfung (ca. 30 Min.) oder Klausur (90 Min.)									
Lehrveranstaltungen des Moduls	LV-Form	SWS	CP	Pf/WP	Semester					
					1	2	3	4	5	6
Reinforcement Learning	V+Ü	3+1	6	Pf						X
Summe		4	6							

5 Schlüsselqualifikationsmodule

VIPY	**Einführung in die Programmierung mit Python** (Introduction to Programming with Python)	Schlüssel-qualifikati-onsmodul	3 CP (insg.) = 90 h		2 SWS
			Kontaktstudium 2 SWS / 30 h	Selbststudium 60 h	

Inhalte

Installation von Python und Erweiterungspaketen, Umgang mit Kommandozeile und interaktiver Shell, Datentypen und -operationen, wesentliche Sprachelemente, Funktionen, Klassen, Exceptions, Verwendung von Erweiterungsmodulen: NumPy, SciPy, MatPlotLib, BioPython
Übungen zur selbstständigen Bearbeitung und Vertiefung des Stoffs mit anschließender Besprechung sind in die Vorlesung integriert.

Lernergebnisse/Kompetenzziele

Dieses Modul dient dem Erwerb von Schlüsselqualifikationen.
Ziele: Der Umgang mit dem Computer ist in der Wissenschaft heute selbstverständlich, und die zusätzliche Kenntnis einer Programmiersprache ist außerordentlich hilfreich für die Durchführung der verschiedensten Tätigkeiten. Über die unmittelbare Nützlichkeit für die Arbeit hinaus fördert das Erlernen einer Programmiersprache das klare, logische, abstrakte Denken und Formulieren. Die Programmiersprache PYTHON ist frei verfügbar, leicht zu erlernen und im Wissenschaftsbetrieb zunehmend verbreitet. Das Modul vermittelt die Grundlagen von PYTHON mit einem Schwerpunkt auf Anwendungen in der Wissenschaft.
Kompetenzen: Die Studierenden kennen die wesentlichen Datentypen und Sprachkonstrukte und sind in der Lage, fertige Programme zu analysieren. Sie werden befähigt, für algorithmisch lösbare Aufgabenstellungen eigene Programme zu entwickeln. Sie können diese Kenntnisse auf studiumsrelevante Probleme anwenden, u.a. auf die Aufbereitung und Analyse von experimentellen Daten, die Datenvisualisierung sowie die Nutzung von Zusatzmodulen für wissenschaftliche Fragestellungen.

Teilnahmevoraussetzungen für Modul bzw. einzelne Veranstaltungen des Moduls

keine

Empfohlene Vorkenntnisse

prinzipiell keine; für die Veranstaltung wird empfohlen, einen eigenen Laptop mitzubringen

Zuordnung (Studiengang/Fachbereich)	BSc Physik, MSc Physik / FB Physik
Verwendbarkeit	BSc Physik
Häufigkeit des Angebots	jährlich
Dauer	einsemestrig
Modulbeauftragte / Modulbeauftragter	Wille
Studiennachweise	
Teilnahmenachweise	regelmäßige Teilnahme am Praktikum
Leistungsnachweise	erfolgreiche Bearbeitung von Programmieraufgaben
Lehr- / Lernformen	Vorlesung, Übung
Unterrichts- / Prüfungssprache	Deutsch

Modulprüfung

keine

Organisatorische Hinweise										
Importmodul: Es gelten die Regelungen der Studienordnung für den BSc Biophysik.										
Lehrveranstaltungen des Moduls	LV-Form	SWS	CP	Pf/WP	Semester					
					1	2	3	4	5	6
Einführung in die Programmierung mit Python (Introduction to Programming with Python)	V+P	1+1	3	Pf	X		X		X	
Summe		2	3							

VPAT	Patentrecht (Patent Law)	Schlüssel-qualifikati-onsmodul	3 CP (insg.) = 90 h		2 SWS
			Kontaktstudium 2 SWS / 30 h	Selbststudium 60 h	

Inhalte

Handhabung geistigen Eigentums am Beispiel der gewerblichen Schutzrechte, insbesondere des Patents. Erhalten, Verteidigen und Durchsetzen von Patenten. Bewertung der Patentierbarkeit einer Entwicklung und des Schutzbereichs eines Patents.

Lernergebnisse/Kompetenzziele

Dieses Modul dient dem Erwerb von Schlüsselqualifikationen. In ihm werden grundlegende Kenntnisse über das Patentwesen erworben. Insbesondere sind Studierende nach Absolvieren in der Lage zu beurteilen, welche Forschungsergebnisse patentierbar sind, und wissen, wie man Patentschutz erlangt und durchsetzt.

Teilnahmevoraussetzungen für Modul bzw. einzelne Veranstaltungen des Moduls

keine

Empfohlene Vorkenntnisse

keine

Zuordnung (Studiengang/Fachbereich)	BSc Physik, MSc Physik / FB Physik
Verwendbarkeit	BSc Physik, MSc Physik
Häufigkeit des Angebots	jährlich
Dauer	einsemestrig
Modulbeauftragte / Modulbeauftragter	Dörner
Studiennachweise	
Teilnahmenachweise	keine
Leistungsnachweise	Fachgespräch (ca. 30 Min.) oder Test
Lehr- / Lernformen	Vorlesung
Unterrichts- / Prüfungssprache	Deutsch

Modulprüfung

keine

Lehrveranstaltungen des Moduls	LV-Form	SWS	CP	Pf/WP	Semester					
					1	2	3	4	5	6
Patentrecht (Patent Law)	V	2	3	Pf	X		X		X	
Summe		2	3							

VATOMM	**Beiträge zur Entwicklungsgeschichte der Atomphysik 1850-1930 – mit wichtigen Meilenstein-Beiträgen Frankfurter Physiker**	Schlüssel-qualifikati-onsmodul	3 CP (insg.) = 90 h		2 SWS
	(History of atomic physics 1850-1930 – with focus on contributions from Frankfurt scientists)		Kontaktstudium 2 SWS / 30 h	Selbststudium 60 h	

Inhalte

- Das Atomknotenmodell von William Thomson 1867
- Konrad Röntgens Entdeckung der X-Strahlen 1895
- Der Zeeman Effekt und seine Deutungen 1896
- Max Planck und seine Konstante 1900
- Albert Einstein und der Photoeffekt 1905
- Max von Laues Beugungsexperiment 1912
- Die Atommodelle von Niels Bohr und Arnold Sommerfeld 1913+1916
- Die Entdeckung der Feinstrukturkonstanten durch Arnold Sommerfeld, Karl Schwarzschild und Wilhelm Lenz 1916
- Die Hypothese der Richtungsquantelung und das Stern-Gerlach-Experiment 1916 + 1922
- Max-Borns und Alfred Landes Atommodelle 1918-1919, Alfred Lande Entdeckung der Vektorkopplung der inneratomaren Drehimpulse 1919
- Alfred Lande Entdeckung halbzahliger Quantenzahlen und des g-Faktors von 2 1921
- Wolfgang Paulis Entdeckungsweg des Ausschlußprinzips
- Die Entdeckung des Elektronspins

Lernergebnisse/Kompetenzziele

Das Modul vermittelt Grundlagen der modernen Quantenphysik im Kontext ihres Entdeckungszusammenhanges. Der Kontext hilft den Studierenden wesentlich Konzepte der Quantenphysik die im frühen 20sten Jahrhundert entwickelt wurden vertieft zu verstehen. Die Studierenden lernen an Beispielen die historische Bedingtheit wissenschaftlichen Fortschrittes kennen. Die vermittelten Einsichten ermöglichen das eigene forschungsorientierte Lernen und eigenständige Forschen kritisch zu reflektieren

Teilnahmevoraussetzungen für Modul bzw. einzelne Veranstaltungen des Moduls

keine

Empfohlene Vorkenntnisse

Inhalt der Module Experimentalphysik 1-3

Zuordnung (Studiengang/Fachbereich)	BSc Physik / FB Physik

Verwendbarkeit	BSc Physik, MSc Physik
Häufigkeit des Angebots	unregelmäßig
Dauer	einsemestrig
Modulbeauftragte / Modulbeauftragter	Dörner
Studiennachweise	
Teilnahmenachweise	keine
Leistungsnachweise	Fachgespräch (ca. 30 Min.) oder Test
Lehr- / Lernformen	Vorlesung
Unterrichts- / Prüfungssprache	Deutsch
Modulprüfung	
keine	

Lehrveranstaltungen des Moduls	LV-Form	SWS	CP	Pf/WP	Semester					
					1	2	3	4	5	6
Entwicklungsgeschichte der Atomphysik (History of atomic physics)	V	2	3	Pf				X	X	X
Summe		2	3							

6 Nebenfachmodule

6.1 Nebenfach Astronomie

ASTRO1	**Astronomie I** (Astronomy I)	Nebenfach-modul	8 CP (insg.) = 240 h		6 SWS
			Kontaktstudium 6 SWS / 90 h	Selbststudium 150 h	

Inhalte	
Koordinatensysteme, Strahlung, Planetensystem, Energieerzeugung in der Sonne, Aufbau der Sonne	
Lernergebnisse/Kompetenzziele	
Das Modul bietet eine erste Einführung in die Astronomie. Der/die Studierende erlernen grundlegende Konzepte und Denkweisen der Astronomie. Themen sind Koordinatensysteme, Strahlung, Planetensystem, Energieerzeugung in der Sonne, Aufbau der Sonne.	
Teilnahmevoraussetzungen für Modul bzw. einzelne Veranstaltungen des Moduls	
keine	
Empfohlene Vorkenntnisse	
keine	
Zuordnung (Studiengang/Fachbereich)	BSc Physik, MSc Physik / FB Physik
Verwendbarkeit	BSc Physik, MSc Physik
Zugehörigkeit zu Schwerpunkten	AKO
Häufigkeit des Angebots	jährlich
Dauer	einsemestrig
Modulbeauftragte / Modulbeauftragter	Reifarth
Studiennachweise / Prüfungsvorleistungen	
Teilnahmenachweise	regelmäßige Teilnahme an den Übungen
Leistungsnachweise	erfolgreiche Bearbeitung von in der Regel wöchentlichen Übungsaufgaben
Prüfungsvorleistungen	Erbringen aller Leistungsnachweise
Lehr- / Lernformen	Vorlesung, Übung
Unterrichts- / Prüfungssprache	Deutsch
Modulprüfung	
Modulabschlussprüfung, benotet	
bestehend aus:	mündliche Prüfung (ca. 30 Min.) oder Klausur (90 Min.)

Lehrveranstaltungen des Moduls	LV-Form	SWS	CP	Pf/WP	Semester 1	2	3	4	5	6
Einführung in die Astronomie 1 (Introduction to Astronomy 1)	V+Ü	4+2	8	Pf		X		X		X
Summe		6	8							

ASTRO2	**Astronomie II** (Astronomy II)	Nebenfach-modul	8 CP (insg.) = 240 h		6 SWS
			Kontaktstudium 6 SWS / 90 h	Selbststudium 150 h	

Inhalte	
Sternentwicklung, Supernovae, Aufbau der Galaxis, Galaxien, Aktive Galaxien, Kosmologie	
Lernergebnisse/Kompetenzziele	
Das Modul bietet eine weiterführende Einführung in die Astronomie. Der/die Studierende erlernen grundlegende Konzepte und Denkweisen der Astronomie. Themen sind Sternentwicklung, Supernovae, Aufbau der Galaxien, Aktive Galaxien, Kosmologie.	
Teilnahmevoraussetzungen für Modul bzw. einzelne Veranstaltungen des Moduls	
keine	
Empfohlene Vorkenntnisse	
Der Inhalt der Veranstaltung *Einführung in die Astronomie I* ist hilfreich, aber nicht erforderlich.	
Zuordnung (Studiengang/Fachbereich)	BSc Physik, MSc Physik / FB Physik
Verwendbarkeit	BSc Physik, MSc Physik
Zugehörigkeit zu Schwerpunkten	AKO
Häufigkeit des Angebots	jährlich
Dauer	einsemestrig
Modulbeauftragte / Modulbeauftragter	Reifarth
Studiennachweise / Prüfungsvorleistungen	
Teilnahmenachweise	regelmäßige Teilnahme an den Übungen
Leistungsnachweise	erfolgreiche Bearbeitung von in der Regel wöchentlichen Übungsaufgaben
Prüfungsvorleistungen	Erbringen aller Leistungsnachweise
Lehr- / Lernformen	Vorlesung, Übung
Unterrichts- / Prüfungssprache	Deutsch
Modulprüfung	
Modulabschlussprüfung, benotet	
bestehend aus:	mündliche Prüfung (ca. 30 Min.) oder Klausur (90 Min.)

Lehrveranstaltungen des Moduls	LV-Form	SWS	CP	Pf/WP	Semester 1	2	3	4	5	6
Einführung in die Astronomie 2 (Introduction to Astronomy 2)	V+Ü	4+2	8	Pf			X		X	
Summe		6	8							

ASTRO3	Astronomie III (Astronomy III)	Nebenfach-modul	13 CP (insg.) = 390 h		7 SWS
			Kontaktstudium 7 SWS / 105 h	Selbststudium 285 h	

Inhalte

abhängig von den gewählten Lehrveranstaltungen:

Astronomisches Praktikum: Computer- und Beobachtungspraktikum mit Beispielen, Simulationen und wichtigen softwaretools der Astronomie sowie einer Exkursion.

Astronomische Spezialvorlesung: zur Auswahl stehen Vorlesungen über Struktur und Dynamik der Sterne, Struktur und Dynamik der Galaxis, Struktur und Dynamik Extragalaktischer Systeme, Nukleare und Astroteilchenphysik, Allgemeine Relativitätstheorie, Kosmologie, Experimentelle Astrophysik

Astronomisches Seminar: Auswahl aus Spezialthemen der modernen Astronomie (siehe Auflistung unter Ziele des Moduls)

Ursprung der Elemente: Astro-Seminar für Fortgeschrittene: Das Seminar für Fortgeschrittene konzentriert sich auf alle beobachtenden und astronomischen Aspekte der Nukleosynthese. Unter den behandelten Themen sind Urknall-Nukleosynthese, stellare Nukleosynthese, stellare Winde (und langsamer Neutroneneinfang), explosive Nukleosynthese (r-Prozess), stellare Entwicklung und der Bezug zu Brennprozessen, chemische Zusammensetzungen und stellare Häufigkeiten, Galaxien, und galaktische chemische Entwicklung. Jedes Thema hat einen theoretischen und einen praktischen Teil, in dem Berechnungen durchgeführt werden.
Die Studierenden wählen in Zweiergruppen eines der eben beschriebenen Themen aus und erwerben in einem ersten Schritt detaillierte theoretische Hintergrundinformationen aus Lehrbüchern und wissenschaftlichen Artikeln. Zusätzlich zu den theoretischen Aspekten verwenden sie frei zugängliche Software (typischerweise linuxbasiert), um anschauliche Berechnungen durchzuführen und z.B. in Python zu programmieren. Auch eigene astronomische (Spektroskopie oder Photometrie) Beobachtungen sind möglich. Am Ende des Kurses stellt jede Gruppe ihr Thema allen Kursteilnehmer*innen vor.

Lernergebnisse/Kompetenzziele

Der/die Studierende vertiefen ihr Wissen in der Astronomie. In einem am Computer basierten Praktikum lernen sie interaktiv die Anwendung von Wissen aus den Modulen ASTRO1,2. Sie lernen wichtige Software- Werkzeuge des Faches kennen und trainieren den selbstständigen Umgang damit. Themengebiete sind: Klassifikation extragalaktischer und galaktischer Objekte anhand spektraler Eigenschaften. Modellierung von Röntgenspektren aktiver galaktischer Kerne. Entfernungsbestimmung von Cepheiden. Hertzsprung - Russel Diagramm. Berechnungen zu Planetenbahnen und Koordinatensystemen. Dunkle Materie in der Milchstraße. Schließlich wählen sie aus einem Angebot von Spezialvorlesungen einen Themenbereich aus, in dem sie vertieftes Wissen erwerben wollen. In einem Seminar erarbeiten sie eigenständig ein Teilgebiet der Astronomie und üben die Präsentation in einem Seminarvortrag.

Teilnahmevoraussetzungen für Modul bzw. einzelne Veranstaltungen des Moduls

keine

Empfohlene Vorkenntnisse

Der Inhalt der Veranstaltungen *Einführung in die Astronomie I–II* ist hilfreich, aber nicht erforderlich.

Zuordnung (Studiengang/Fachbereich)	BSc Physik, MSc Physik / FB Physik
Verwendbarkeit	BSc Physik, MSc Physik
Zugehörigkeit zu Schwerpunkten	AKO
Häufigkeit des Angebots	jährlich
Dauer	zweisemestrig

Modulbeauftragte / Modulbeauftragter	Reifarth
Studiennachweise / Prüfungsvorleistungen	
Teilnahmenachweise	regelmäßige Teilnahme am Praktikum und am Seminar
Leistungsnachweise	Abgabe und Bestehen von Praktikumsprotokollen im *Astronomischen Praktikum* (weitere Details werden in der Praktikumsordnung festgelegt), Seminarvortrag im Rahmen des *Astronomischen Seminars*, Präsentation im Rahmen der Lehrveranstaltung *Ursprung der Elemente: Astro-Seminar für Fortgeschrittene*
Prüfungsvorleistungen	Erbringen aller Leistungsnachweise
Lehr- / Lernformen	Praktikum, Vorlesung, Seminar
Unterrichts- / Prüfungssprache	Deutsch
Modulprüfung	
Modulabschlussprüfung, benotet	
bestehend aus:	mündliche Prüfung (ca. 30 Min.)

Lehrveranstaltungen des Moduls	LV-Form	SWS	CP	Pf/WP	Semester					
					1	2	3	4	5	6
Astronomisches Praktikum (Lab Class Astronomy)	P	3	6	Pf		X		X		
Astronomische Spezialvorlesung (Special Topics in Astronomy)	V	2	3	Pf			X		X	
Astronomisches Seminar (Astronomy Seminar)	S	2	4	WP				X		X
Ursprung der Elemente: Astro-Seminar für Fortgeschrittene (Origin of Elements: Advanced Astro Seminar)	V+S	1+2	4	WP			X	X	X	X
Summe		7	13							

6.2 Nebenfach Elektronik

Das Nebenfach Elektronik besteht aus zwei konsekutiven Modulen, die beide erfolgreich absolviert werden müssen. Von der Teilnahme an ELEK-D kann abgesehen werden, falls der oder die Studierende ein inhaltsgleiches Modul vorweisen kann, z.B. die Kombination der Module B-RTKS mit B-HWS-PR des BSc Informatik. Soweit letztgenannte Module bereits als Nebenfachmodule eingebracht wurden, werden für das Nebenfach Elektronik nur die CP und die Note des Moduls ELEK-A berücksichtigt. Das Nebenfach kann jederzeit im Studienverlauf begonnen werden.

ELEK-A	**Analogelektronik** (Analog Electronics)	Nebenfach-modul	9 CP (insg.) = 270 h		6 SWS
			Kontaktstudium 6 SWS / 83 h	Selbststudium 187 h	

Inhalte

Elektronik und Sensorik I: Die Vorlesung *Elektronik und Sensorik I* bietet eine umfassende Einführung in die Grundlagen der Analog-Elektronik. Dabei werden die wichtigsten elektronischen Bauelemente und ihre Grundschaltungen behandelt. Einige Themenschwerpunkte sind: Passive Netzwerke, Grundlagen der Halbleiterdiode, Feldeffekt- und Bipolarer Transistor, Dioden- und Transistorschaltungen, Operationsverstärker, Schaltungssimulation.

Elektronik und Sensorik II: Die Vorlesung *Elektronik und Sensorik II* bietet, aufbauend auf die Vorlesung *Elektronik und Sensorik I*, eine umfassende Einführung in die Grundlagen der Analog-Elektronik. Dabei werden die wichtigsten elektronischen Bauelemente und ihre Grundschaltungen behandelt. Einige Themenschwerpunkte sind: Passive Netzwerke, Grundlagen der Halbleiterdiode, Feldeffekt- und Bipolarer Transistor, Dioden- und Transistorschaltungen, Operationsverstärker, Schaltungssimulation. Kern des Praktikums ist es, den Studierenden den Einsatz der wichtigsten Baugruppen der analogen Elektronik zu vermitteln und den Aufbau einfacher Schaltungen der Analogelektronik zu üben.

Elektronikpraktikum (Analogteil): Ladungstransport, Signale, lineare passive Netzwerke, physikalische Grundlagen der Halbleiter-Bauelemente, Diodenschaltungen, bipolare und FET-Transistoren, Gegenkopplung

Lernergebnisse/Kompetenzziele

Die Studierenden erlernen grundlegende Konzepte des Faches und erwerben die Kompetenz zur eigenständigen Analyse elektronischer Bauelemente sowie zur Analyse und zum Aufbau elektronischer Schaltungen. Insbesondere im Rahmen des Praktikums sollen Fertigkeiten wie selbständiger Aufbau und Dimensionierung elektronischer Schaltungen, eigenständiges Lösen von Problemen sowie die Fähigkeit zur Dokumentation und Präsentation von Messergebnissen erworben werden.
Das Modul richtet sich an Studierende aller Semester.

Teilnahmevoraussetzungen für Modul bzw. einzelne Veranstaltungen des Moduls

keine

Empfohlene Vorkenntnisse

keine

Zuordnung (Studiengang/Fachbereich)	BSc Physik, MSc Physik / FB Physik
Verwendbarkeit	BSc Physik, MSc Physik
Zugehörigkeit zu Schwerpunkten	AKT BEP
Häufigkeit des Angebots	jährlich
Dauer	zweisemestrig
Modulbeauftragte / Modulbeauftragter	Fröhlich

Studiennachweise / Prüfungsvorleistungen	
Teilnahmenachweise	regelmäßige Teilnahme an den Übungen und Praktika
Leistungsnachweise	erfolgreiche Bearbeitung von in der Regel wöchentlichen Übungsaufgaben, Abgabe und Bestehen von Praktikumsprotokollen (Die Leistungsnachweise können nachgereicht werden, müssen also bei der Anmeldung zur Modulabschlussprüfung noch nicht vorliegen; weitere Details werden in der Praktikumsordnung festgelegt)
Prüfungsvorleistungen	Erbringen aller Leistungsnachweise
Lehr- / Lernformen	Vorlesungen, Übung, Praktikum
Unterrichts- / Prüfungssprache	Deutsch
Modulprüfung	
Modulabschlussprüfung, benotet	
bestehend aus:	mündliche Prüfung (ca. 30 Min.) oder Klausur (90 Min.)

Lehrveranstaltungen des Moduls	LV-Form	SWS	CP	Pf/WP	Semester					
					1	2	3	4	5	6
Elektronik und Sensorik I (Electronics and Sensorics I)	V+Ü	2+1	4	Pf			X		X	
Elektronik und Sensorik II (Electronics and Sensorics II) (die Lehrveranstaltung erstreckt sich in der Form V1 über die 1. Hälfte des Semesters)	V	0.5	1	Pf				X		X
Elektronikpraktikum (Analogteil) (Lab Class Analog Electronics) (die Lehrveranstaltung erstreckt sich in der Form P4 über die 1. Hälfte des Semesters)	P	2	4	Pf				X		X
Summe		5.5	9							

ELEK-D	**Digitalelektronik** (Digital Electronics)	Nebenfach-modul	8 CP (insg.) = 240 h		5 SWS
			Kontaktstudium 5 SWS / 68 h	Selbststudium 172 h	

Inhalte

Digitale Elektronik I: In der Vorlesung *Digitale Elektronik I* werden zunächst die für das Digitalelektronikpraktikum benötigten Kenntnisse vorbereitet, so werden z.B. die boolsche Algebra, digitale Bauelemente, Zustandsautomaten, und die einzelnen Logikfamilien eingeführt. Hierbei wird Wert auf die praxisnahe Gestaltung der Vorlesung gelegt.

Digitale Elektronik II: In der Vorlesung "Digitalelektronik II" werden die Themen boolsche Algebra, digitale Bauelemente, Zustandsautomaten, und die einzelnen Logikfamilien vertieft. Die Vorlesung ist ergänzend zum Praktikum und dient zur Diskussion der konkreten Projekte.

Elektronikpraktikum (Digitalteil): In dem Praktikum, das durch eine ergänzende Vorlesung „Digitalelektronik II"zur Diskussion der konkreten Projekte begleitet wird, werden die Studierenden zunächst durch den Aufbau von Schaltungen mit diskreten Bauelementen an die Materie herangeführt, so dass diese dann mit VHDL ein eigenständiges Projekt mit programmierbarer Logik definieren und implementieren können.

Lernergebnisse/Kompetenzziele

Den Studierenden wird ein grundlegendes Verständnis der Funktionsweise digitaler Schaltungen vermittelt, um in der Lage zu sein, zukünftige vertiefende Arbeiten und Aufgabenstellungen auf dem Gebiet sicher einzuordnen. Im Vordergrund des Praktikums steht die selbstständige Anwendung des Erlernten durch die selbständige Durchführung eines in Teamarbeit frei zu gestaltenden Projektes. Das Modul richtet sich an Studierende aller Semester.

Teilnahmevoraussetzungen für Modul bzw. einzelne Veranstaltungen des Moduls

Modul Elek-A oder gleichwertige Vorkenntnisse. Das Praktikum kann ohne die gleichzeitige Teilnahme an den Vorlesungen *Digitale Elektronik I,II* oder eine bereits erfolgte erfolgreiche Modulabschlussprüfung für das Modul ELEK-D nicht begonnen werden.

Empfohlene Vorkenntnisse

Inhalt des Moduls ELEK-A

Zuordnung (Studiengang/Fachbereich)	BSc Physik, MSc Physik / FB Physik
Verwendbarkeit	BSc Physik, MSc Physik
Zugehörigkeit zu Schwerpunkten	AKT BEP
Häufigkeit des Angebots	jährlich
Dauer	einsemestrig
Modulbeauftragte / Modulbeauftragter	Fröhlich
Studiennachweise / Prüfungsvorleistungen	
Teilnahmenachweise	regelmäßige Teilnahme am Praktikum
Leistungsnachweise	Abgabe und Bestehen von Praktikumsprotokollen (Die Leistungsnachweise können nachgereicht werden, müssen also bei der Anmeldung zur Modulabschlussprüfung noch nicht vorliegen; weitere Details werden in der Praktikumsordnung festgelegt)
Prüfungsvorleistungen	Erbringen aller Leistungsnachweise
Lehr- / Lernformen	Vorlesungen, Übung, Praktikum

Unterrichts- / Prüfungssprache	Deutsch									
Modulprüfung **Modulabschlussprüfung, benotet** **bestehend aus:**	mündliche Prüfung (ca. 30 Min.) oder Klausur (90 Min.)									
Lehrveranstaltungen des Moduls	LV-Form	SWS	CP	Pf/WP	Semester					
					1	2	3	4	5	6
Digitale Elektronik I (Digital Electronics I)	V	2	3	Pf				X		X
Digitale Elektronik II (Digital Electronics II) (die Lehrveranstaltung erstreckt sich in der Form V1 über die 2. Hälfte des Semesters)	V	0.5	1	Pf				X		X
Elektronikpraktikum (Digitalteil) (Lab Class Digital Electronics) (die Lehrveranstaltung erstreckt sich in der Form P4 über die 2. Hälfte des Semesters)	P	2	4	Pf				X		X
Summe		4.5	8							

6.3 Nebenfach Didaktik der Physik

Für das Nebenfach Physikdidaktik im Rahmen des Bachelorstudiums Physik ist das Absolvieren des Moduls Physikdidaktik 1 verpflichtend, das Modul Physikdidaktik 2 optional.

DIDA1	**Physikdidaktik 1** (Didactics of Physics 1)	Nebenfach-modul	13 CP (insg.) = 390 h		8 SWS
			Kontaktstudium 8 SWS / 120 h	Selbststudium 270 h	

Inhalte	
Ausgewählte fachdidaktische und methodische Themen wie Schülervorstellungen, Elementarisierung, Modellbildung, Experimentieren und exemplarische Anwendung im Physikunterricht.	
Lernergebnisse/Kompetenzziele	
Die Teilnehmer erwerben zu den verschiedenen Inhaltsbereichen handlungsrelevantes Wissen, das es ihnen erlaubt, diese Inhalte in die Gestaltung von Lehr-Lern-Umgebungen verantwortungsvoll, reflektiert und im Anschluss an wissenschaftliche Erkenntnisse einzubeziehen. Ferner erlangen sie im Sinne des exemplarischen Lernens Kompetenzen in der Erschließung zukünftig neuer naturwissenschaftsdidaktischer Inhaltsbereiche und ihrer Vernetzung mit bestehenden Wissens- und Kompetenzbereichen.	
Teilnahmevoraussetzungen für Modul bzw. einzelne Veranstaltungen des Moduls	
keine	
Empfohlene Vorkenntnisse	
keine	
Zuordnung (Studiengang/Fachbereich)	BSc Physik, MSc Physik / FB Physik
Verwendbarkeit	BSc Physik, MSc Physik
Häufigkeit des Angebots	jährlich
Dauer	zweisemestrig
Modulbeauftragte / Modulbeauftragter	Wilhelm
Studiennachweise / Prüfungsvorleistungen	
Teilnahmenachweise	regelmäßige Teilnahme an den Seminaren und dem Praktikum
Leistungsnachweise	keine
Prüfungsvorleistungen	keine
Lehr- / Lernformen	Vorlesung, Praktikum, Seminare
Unterrichts- / Prüfungssprache	Deutsch
Modulprüfung	
kumulative Modulprüfung, benotet	
bestehend aus:	eine Klausur (90 Min.) zu den Inhalten der beiden Lehrveranstaltungen LV1 und LV2, Protokolle und Ausarbeitung in LV3, Hausarbeit oder Präsentation und Ausarbeitung in LV4
Bildung der Modulnote:	nach CP gewichtetes, arithmetisches Mittel der Einzelnoten

Lehrveranstaltungen des Moduls	LV-Form	SWS	CP	Pf/WP	Semester					
					1	2	3	4	5	6
Einführung in die Physikdidaktik für L3 (Introduction to Didactics of Physics for L3)	V	2	3	Pf	X		X		X	
Fachdidaktische Vertiefung der klassischen Physik (Didactics of Classical Physics)	S	2	2	Pf		X		X		X
Physikalisches Praktikum Optik L2 (Lab Class Optics L2)	P	3	5	Pf		X		X		X
Physikdidaktische Wahlpflichtveranstaltung (Required Elective Course Didactics of Physics)	S	2	3	Pf		X	X	X	X	X
Summe		9	13							

DIDA2	Physikdidaktik 2 (Didactics of Physics 2)	Nebenfach-modul	14 CP (insg.) = 420 h		9 SWS
			Kontaktstudium 9 SWS / 135 h	Selbststudium 285 h	

Inhalte

Fachdidaktische Vertiefung der Modernen Physik: Grundlagen der Atomphysik, Kernphysik und Festkörperphysik; Grundlagen der Quantenphysik, Relativitätstheorie und Astrophysik; fachdidaktische Anforderungen an das Kommunizieren und Lehren im Themenfeld Moderne Physik.

Methodik des Physikunterrichts: Die Studierenden entwickeln Unterrichtsmaterialien unter Anwendung verschiedener methodischer Konzepte und Unterrichtsformen. Darauf basierend konzipieren sie eine konkrete Unterrichtseinheit zu einem ausgewählten Schwerpunkt.

Praktikum Experimentelle Demonstrationen: Grundlegende Experimente des Physikunterrichts der Sekundarstufe I und II; Gerätekunde schultypischer Geräte; Zielsetzung und didaktisches Potential von Demonstrationsexperimenten, Schülerexperimenten, Freihandexperimenten, Modellexperimenten, etc.; rechnergestütztes Experimentieren und computerbasierte Messwerterfassung; Präsentation von Experimenten; Sicherheit im Physikunterricht.

Lernergebnisse/Kompetenzziele

Fachdidaktische Vertiefung der modernen Physik: Die Studierenden verfügen über ein grundlegendes Fachwissen zu den aufgeführten Themen und können dies in unterschiedlichen Kontexten anwenden. Die Studierenden kennen typische Lernschwierigkeiten aus den betreffenden Themenbereichen und können Folgerungen für Elementarisierungen, fachliche Reflektionen und Unterricht ziehen.
Methodik des Physikunterrichts: Die Studierenden kennen fachdidaktische Theorien und Forschung für Lehren und Lernen. Sie können fachdidaktische Ansätze zur Konzeption von Unterrichtsprozessen erläutern und in exemplarischen Unterrichtsentwürfen mit Blick auf Medienpädagogik umsetzen. Sie können schulische und außerschulische Praxisfelder erfassen und kritisch analysieren, sowie fachspezifische Lernschwierigkeiten berücksichtigen und Fördermöglichkeiten entwickeln.
Experimentelle Demonstrationen: Die Studierenden kennen Kategorien von Experimenten, ihre Funktion und ihr didaktisches Potential. Sie können mit handels- und schulüblichen Lehrgeräten und Experimentiermaterialien kompetent umgehen und Strategien zur systematischen Analyse von Fehlerquellen beim eigenen Experimentieren entwickeln. Sie können Experimente lernziel- und schülerorientiert auswählen, aufbauen und präsentieren.

Teilnahmevoraussetzungen für Modul bzw. einzelne Veranstaltungen des Moduls

erfolgreicher Abschluss des Moduls *Physikdidaktik 1*

Empfohlene Vorkenntnisse

Inhalte des Moduls *Physikdidaktik 1*

Zuordnung (Studiengang/Fachbereich)	BSc Physik, MSc Physik / FB Physik
Verwendbarkeit	BSc Physik, MSc Physik
Häufigkeit des Angebots	jährlich
Dauer	zweisemestrig
Modulbeauftragte / Modulbeauftragter	Korneck
Studiennachweise / Prüfungsvorleistungen	
Teilnahmenachweise	regelmäßige Teilnahme an Seminar und Praktikum
Leistungsnachweise	keine
Prüfungsvorleistungen	keine

Lehr- / Lernformen	Vorlesung, Praktikum, Seminar									
Unterrichts- / Prüfungssprache	Deutsch									
Modulprüfung										
kumulative Modulprüfung, benotet										
bestehend aus:	Hausarbeit oder Präsentation und Ausarbeitung in LV2 und LV3									
Bildung der Modulnote:	nach CP gewichtetes, arithmetisches Mittel der Einzelnoten									
Lehrveranstaltungen des Moduls	LV-Form	SWS	CP	Pf/WP	Semester					
					1	2	3	4	5	6
Fachdidaktische Vertiefung der Modernen Physik (Didactics of Modern Physics)	S	2	3	Pf				X		X
Methodik des Physikunterrichts (Methods for School Physics)	S	3	4	Pf			X		X	
Praktikum Experimentelle Demonstrationen (Lab Class Demonstration Experiments)	P	4	7	Pf			X	X	X	X
Summe		9	14							

7 Exportmodule für Nebenfach Physik in anderen Studiengängen

Für alle nachfolgenden Module gelten bezüglich Studiennachweisen, Prüfungsvorleistungen, Anmelde- und Rücktrittsfristen, Prüfungszeiträumen und Prüfungswiederholungen die Regelungen der zum Zeitpunkt des Absolvierens des Moduls gültigen Ordnung des Bachelorstudiengangs Physik, sofern nicht in den Modulbeschreibungen der Studienordnung für den Bachelorstudiengang Physik ausdrücklich anders ausgewiesen.

7.1 Vorlesungen

NFPHY-VA1	**Einführung in die Physik A1 für Nebenfachstudierende**	Exportmodul	6 CP (insg.) = 180 h		4 SWS
	(Introduction to Physics A1 for Minors)		Kontaktstudium 4 SWS / 60 h	Selbststudium 120 h	

Inhalte	
Mechanik: Grundbegriffe der Physik, Bezugssysteme, Bewegung von Punkten, Newton'sche Axiome, Impuls, Reibungskräfte, Gravitation, Arbeit, Leistung und Energie, Stoßgesetze, Schwingungen, Drehbewegungen Thermodynamik: Hauptsätze, Carnot-Maschine, Wirkungsgrad, Zustandsgrößen, Phasen und Phasenübergänge, Wärmeleitung, Diffusion, ideales Gas, barometrische Höhenformel, van-der-Waals-Gas, Wärme als Teilchenbewegung, Freiheitsgrade, Maxwell-Boltzmann-Verteilung, Wahrscheinlichkeit und Entropie	
Lernergebnisse/Kompetenzziele	
Die Mechanik ist eine grundlegende Teildisziplin der Physik und wirkt mit ihren Grundbegriffen und Prinzipien in jedes andere Teilgebiet der Physik hinein. In der Thermodynamik werden Begriffe für die Beschreibung von Zuständen und Zustandsänderungen makroskopischer Systeme entwickelt, die dann mit den mikroskopischen Eigenschaften der Systeme (Bewegungen und Wechselwirkungen der Teilchen) in Verbindung gebracht werden. Die in der Vorlesung vermittelten Inhalte werden in den Übungen angewendet. Die Studierenden sind anschließend in der Lage, entsprechende Problemstellungen selbständig zu analysieren und zu lösen.	
Teilnahmevoraussetzungen für Modul bzw. einzelne Veranstaltungen des Moduls	
keine	
Empfohlene Vorkenntnisse	
keine	
Zuordnung (Studiengang/Fachbereich)	BSc Physik / FB Physik
Verwendbarkeit	BSc Geowissenschaften, BSc Geographie, BSc Informatik
Häufigkeit des Angebots	jährlich
Dauer	einsemestrig
Modulbeauftragte / Modulbeauftragter	Tutsch
Studiennachweise / Prüfungsvorleistungen	
Teilnahmenachweise	regelmäßige Teilnahme an den Übungen
Leistungsnachweise	erfolgreiche Bearbeitung von in der Regel wöchentlichen Übungsaufgaben oder Bestehen von Tests
Prüfungsvorleistungen	Erbringen aller Leistungsnachweise

Lehr- / Lernformen	Vorlesung, Übung
Unterrichts- / Prüfungssprache	Deutsch
Modulprüfung	
Modulabschlussprüfung, benotet	
bestehend aus:	Klausur (120 Min.)
Organisatorische Hinweise	

Die Organisation der Übung erfolgt online über OLAT.
Zur Klausur ist eine Anmeldung erforderlich. Der Klausurtermin wird im LSF und durch Aushang am Prüfungsamt des FB Physik bekanntgegeben. Die Anmeldung zur Klausur erfolgt online über QIS. Die Anmeldefrist endet eine Woche vor dem Klausurtermin, die Rücktrittsfrist endet einen Tag vor dem Klausurtermin.

Lehrveranstaltungen des Moduls	LV-Form	SWS	CP	Pf/WP	Semester					
					1	2	3	4	5	6
Einführung in die Physik A1 (Introduction to Physics A1)	V+Ü	3+1	6	Pf	X		X		X	
Summe		4	6							

NFPHY-VA1S	**Einführung in die Physik A1 für Nebenfachstudierende, Abschluss mit Studienleistung**	Exportmodul	6 CP (insg.) = 180 h		4 SWS
	(Introduction to Physics A1 for Minors, Completion with Course Achievement)		Kontaktstudium 4 SWS / 60 h	Selbststudium 120 h	

Inhalte

Mechanik: Grundbegriffe der Physik, Bezugssysteme, Bewegung von Punkten, Newton'sche Axiome, Impuls, Reibungskräfte, Gravitation, Arbeit, Leistung und Energie, Stoßgesetze, Schwingungen, Drehbewegungen
Thermodynamik: Hauptsätze, Carnot-Maschine, Wirkungsgrad, Zustandsgrößen, Phasen und Phasenübergänge, Wärmeleitung, Diffusion, ideales Gas, barometrische Höhenformel, van-der-Waals-Gas, Wärme als Teilchenbewegung, Freiheitsgrade, Maxwell-Boltzmann-Verteilung, Wahrscheinlichkeit und Entropie

Lernergebnisse/Kompetenzziele

Die Mechanik ist eine grundlegende Teildisziplin der Physik und wirkt mit ihren Grundbegriffen und Prinzipien in jedes andere Teilgebiet der Physik hinein. In der Thermodynamik werden Begriffe für die Beschreibung von Zuständen und Zustandsänderungen makroskopischer Systeme entwickelt, die dann mit den mikroskopischen Eigenschaften der Systeme (Bewegungen und Wechselwirkungen der Teilchen) in Verbindung gebracht werden. Die in der Vorlesung vermittelten Inhalte werden in den Übungen angewendet. Die Studierenden sind anschließend in der Lage, entsprechende Problemstellungen selbständig zu analysieren und zu lösen.

Teilnahmevoraussetzungen für Modul bzw. einzelne Veranstaltungen des Moduls

keine

Empfohlene Vorkenntnisse

keine

Zuordnung (Studiengang/Fachbereich)	BSc Physik / FB Physik
Verwendbarkeit	BSc Biochemie, BSc Chemie
Häufigkeit des Angebots	jährlich
Dauer	einsemestrig
Modulbeauftragte / Modulbeauftragter	Tutsch
Studiennachweise	
Teilnahmenachweise	regelmäßige Teilnahme an den Übungen
Leistungsnachweise	erfolgreiche Bearbeitung von in der Regel wöchentlichen Übungsaufgaben oder Bestehen von Tests, Bestehen einer Klausur (120 Min.)
Lehr- / Lernformen	Vorlesung, Übung
Unterrichts- / Prüfungssprache	Deutsch

Modulprüfung

keine

Organisatorische Hinweise
Die Organisation der Übung erfolgt online über OLAT. Zur Klausur ist eine Anmeldung erforderlich. Der Klausurtermin wird im LSF und durch Aushang am Prüfungsamt des FB Physik bekanntgegeben. Die Anmeldung zur Klausur erfolgt online über QIS. Die Anmeldefrist endet eine Woche vor dem Klausurtermin, die Rücktrittsfrist endet einen Tag vor dem Klausurtermin.

Lehrveranstaltungen des Moduls	LV-Form	SWS	CP	Pf/WP	Semester					
					1	2	3	4	5	6
Einführung in die Physik A1 (Introduction to Physics A1)	V+Ü	3+1	6	Pf	X		X		X	
Summe		4	6							

NFPHY-VA2	**Einführung in die Physik A2 für Nebenfachstudierende** (Introduction to Physics A2 for Minors)	Exportmodul	6 CP (insg.) = 180 h		4 SWS
			Kontaktstudium 4 SWS / 60 h	Selbststudium 120 h	

Inhalte

Elektrodynamik: Coulomb-Gesetz, elektrisches Feld, Potential, Spannung, Arbeit, Leistung, Materie im E-Feld, Kapazität, Energie des E-Felds, Strom, Widerstand, Magnetfeld, Biot-Savart'sches Gesetz, Materie im B-Feld, magnetische Kraft, Hall-Effekt, Faraday'sches Induktionsgesetz, Induktivität, Energie des B-Felds, Elektromotor, Generator, Transformator, Wechselstromkreise, Maxwell-Gleichungen, elektromagnetische Wellen
Optik: Reflexions- und Brechungsgesetz, Linsentypen, Linsenschleiferformel, Abbildungsgleichung, optische Instrumente (insbesondere Teleskop und Mikroskop), Dispersion, Huygens'sches Prinzip, Beugung und Interferenz, Auflösung von Teleskop und Mikroskop, Kohärenz, Polarisation

Lernergebnisse/Kompetenzziele

Kenntnisse der Elektrodynamik sind unerlässlich, um die maßgeblich von elektrischen und magnetischen Kräften geprägten Eigenschaften von Materie zu verstehen. Die Optik befasst sich mit der Ausbreitung von Wellen (insbesondere von elektromagnetischen Wellen) und deren Wechselwirkung mit Materie. In der Vorlesung steht dabei das Verständnis von Abbildungsprozessen im Vordergrund. Die in der Vorlesung vermittelten Inhalte werden in den Übungen angewendet. Die Studierenden sind anschließend in der Lage, entsprechende Problemstellungen selbständig zu analysieren und zu lösen.

Teilnahmevoraussetzungen für Modul bzw. einzelne Veranstaltungen des Moduls

keine

Empfohlene Vorkenntnisse

Inhalt des Moduls NFPHY-VA1 bzw. NFPHY-VA1S

Zuordnung (Studiengang/Fachbereich)	BSc Physik / FB Physik
Verwendbarkeit	BSc Geowissenschaften, BSc Informatik
Häufigkeit des Angebots	jährlich
Dauer	einsemestrig
Modulbeauftragte / Modulbeauftragter	Tutsch
Studiennachweise / Prüfungsvorleistungen	
Teilnahmenachweise	regelmäßige Teilnahme an den Übungen
Leistungsnachweise	erfolgreiche Bearbeitung von in der Regel wöchentlichen Übungsaufgaben oder Bestehen von Tests
Prüfungsvorleistungen	Erbringen aller Leistungsnachweise
Lehr- / Lernformen	Vorlesung, Übung
Unterrichts- / Prüfungssprache	Deutsch
Modulprüfung	
Modulabschlussprüfung, benotet	
bestehend aus:	Klausur (120 Min.)

Organisatorische Hinweise
Die Organisation der Übung erfolgt online über OLAT. Zur Klausur ist eine Anmeldung erforderlich. Der Klausurtermin wird im LSF und durch Aushang am Prüfungsamt des FB Physik bekanntgegeben. Die Anmeldung zur Klausur erfolgt online über QIS. Die Anmeldefrist endet eine Woche vor dem Klausurtermin, die Rücktrittsfrist endet einen Tag vor dem Klausurtermin.

Lehrveranstaltungen des Moduls	LV-Form	SWS	CP	Pf/WP	Semester					
					1	2	3	4	5	6
Einführung in die Physik A2 (Introduction to Physics A2)	V+Ü	3+1	6	Pf		X		X		X
Summe		4	6							

NFPHY-VA2S	**Einführung in die Physik A2 für Nebenfachstudierende, Abschluss mit Studienleistung**	Exportmodul	6 CP (insg.) = 180 h		4 SWS
	(Introduction to Physics A2 for Minors, Completion with Course Achievement)		Kontaktstudium 4 SWS / 60 h	Selbststudium 120 h	

Inhalte

Elektrodynamik: Coulomb-Gesetz, elektrisches Feld, Potential, Spannung, Arbeit, Leistung, Materie im E-Feld, Kapazität, Energie des E-Felds, Strom, Widerstand, Magnetfeld, Biot-Savart'sches Gesetz, Materie im B-Feld, magnetische Kraft, Hall-Effekt, Faraday'sches Induktionsgesetz, Induktivität, Energie des B-Felds, Elektromotor, Generator, Transformator, Wechselstromkreise, Maxwell-Gleichungen, elektromagnetische Wellen
Optik: Reflexions- und Brechungsgesetz, Linsentypen, Linsenschleiferformel, Abbildungsgleichung, optische Instrumente (insbesondere Teleskop und Mikroskop), Dispersion, Huygens'sches Prinzip, Beugung und Interferenz, Auflösung von Teleskop und Mikroskop, Kohärenz, Polarisation

Lernergebnisse/Kompetenzziele

Kenntnisse der Elektrodynamik sind unerlässlich, um die maßgeblich von elektrischen und magnetischen Kräften geprägten Eigenschaften von Materie zu verstehen. Die Optik befasst sich mit der Ausbreitung von Wellen (insbesondere von elektromagnetischen Wellen) und deren Wechselwirkung mit Materie. In der Vorlesung steht dabei das Verständnis von Abbildungsprozessen im Vordergrund. Die in der Vorlesung vermittelten Inhalte werden in den Übungen angewendet. Die Studierenden sind anschließend in der Lage, entsprechende Problemstellungen selbständig zu analysieren und zu lösen.

Teilnahmevoraussetzungen für Modul bzw. einzelne Veranstaltungen des Moduls

keine

Empfohlene Vorkenntnisse

Inhalt des Moduls NFPHY-VA1 bzw. NFPHY-VA1S

Zuordnung (Studiengang/Fachbereich)	BSc Physik / FB Physik
Verwendbarkeit	BSc Biochemie, BSc Chemie
Häufigkeit des Angebots	jährlich
Dauer	einsemestrig
Modulbeauftragte / Modulbeauftragter	Tutsch
Studiennachweise	
Teilnahmenachweise	regelmäßige Teilnahme an den Übungen
Leistungsnachweise	erfolgreiche Bearbeitung von in der Regel wöchentlichen Übungsaufgaben oder Bestehen von Tests, Bestehen einer Klausur (120 Min.)
Lehr- / Lernformen	Vorlesung, Übung
Unterrichts- / Prüfungssprache	Deutsch

Modulprüfung

keine

Organisatorische Hinweise
Die Organisation der Übung erfolgt online über OLAT. Zur Klausur ist eine Anmeldung erforderlich. Der Klausurtermin wird im LSF und durch Aushang am Prüfungsamt des FB Physik bekanntgegeben. Die Anmeldung zur Klausur erfolgt online über QIS. Die Anmeldefrist endet eine Woche vor dem Klausurtermin, die Rücktrittsfrist endet einen Tag vor dem Klausurtermin.

Lehrveranstaltungen des Moduls	LV-Form	SWS	CP	Pf/WP	Semester					
					1	2	3	4	5	6
Einführung in die Physik A2 (Introduction to Physics A2)	V+Ü	3+1	6	Pf		X		X		X
Summe		4	6							

NFPHY-VB1	**Einführung in die Physik B1 für Nebenfachstudierende** (Introduction to Physics B1 for Minors)	Exportmodul	5 CP (insg.) = 150 h		4 SWS
			Kontaktstudium 4 SWS / 60 h	Selbststudium 90 h	

Inhalte

Mechanik: Grundlagen der Physik, Basiseinheiten, physikalische Größen, Messfehler, Fehlerfortpflanzung, Geschwindigkeit, Beschleunigung, Trägheitsprinzip, Aktionsprinzip, Kraft, Reaktionsprinzip, senkrechter, horizontaler und schräger Wurf, Gravitation, Hookesches Gesetz, Fallbeschleunigung, Reibung, Luftwiderstand, Arbeit, schiefe Ebene, potentielle Energie im Schwerefeld, kinetische Energie, Energieerhaltung, Leistung, Impuls, Impulserhaltung, Stoßgesetze, elastischer Stoß, inelastischer Stoß, Drehmoment, Trägheitsmoment, Rotationsenergie, Drehimpuls, Pendelbewegung, Verformung von Körpern, Elastizität, Druck, Pascalsches Prinzip, Druckmessung, hydraulischer Druck, hydraulisches Paradoxon, barometrische Höhenformel, Auftrieb, Archimedisches Prinzip, Dichtebestimmung, Oberflächenspannung, Kohäsion und Adhäsion, Oberflächenspannung, Kapillarkräfte, Strömung, Gleichung von Bernoulli, Viskosität, Stokes Reibung, laminare Strömung, Gesetz von Hagen-Poiseuille, turbulente Strömung, Reynoldszahl
Thermodynamik: Temperatur, Temperaturmessung, Zustandsgrößen, Normvolumen, kinetisches Gasmodell, Maxwell-Boltzmann Verteilung, mittlere Molekülgeschwindigkeit, ideale Gase, Gesetz von Boyle-Mariotte und Gay-Lussac, Isotherme, Isobare, Isochore, reale Gase, Van-der-Waals Gleichung, Phasenübergang, fest, flüssig, gasförmig, Plasma, kritischer Punkt, Phasendiagramme, überkritisches Fluid, Dampfdruckkurve, Tripelpunkt, Partialdruck, Wärme, spezifische und molare Wärmekapazität, thermisches Gleichgewicht, latente Wärme, Schmelzwärme, Verdampfungswärme, molekulare Wärmeleitung, Konvektion, Wärmestrahlung, Thermografie, Plankstrahlung, Stefan-Boltzmann Konstante, Wiensches Verschiebungsgesetz, erster Hauptsatz der Wärmelehre, innere Energie, Volumenarbeit, reversible und irreversible Prozesse, Wärmekapazität bei konstantem Druck und bei konstantem Volumen, kinetische Freiheitsgrade, Gleichverteilungssatz, Regel von Dulong-Petit, adiabatische Zustandsänderung, Entropie, zweiter Hauptsatz der Wärmelehre, Wärmekraftmaschinen, Wirkungsgrad, Carnot-Prozess, Kältemaschinen und Wärmepumpen

Lernergebnisse/Kompetenzziele

Da die Studierenden des ersten Semesters einen sehr heterogenen Bildungshintergrund haben, beginnt die Vorlesung der Mechanik mit den Grundlagen der Physik und entwickelt daraus — durchgehend veranschaulicht durch Demonstrationsexperimente — Grundbegriffe und elementare Zusammenhänge der Mechanik und der allgemeinen Physik. Die Studierenden lernen mit vektoriellen Größen zu operieren und einfache Bewegungsvorgänge zu analysieren. Mit diesen einfachen Begriffen werden dann verschiedene mechanische Erhaltungssätze behandelt. Schließlich werden Druck und Strömung und damit zusammenhängende Phänomene in festen, flüssigen und gasförmigen Systemen diskutiert. Im zweiten Teil der Vorlesung werden die Grundlagen der Thermodynamik vorgestellt. Dieser Teil der Vorlesung macht vom Modellsystem des idealen Gases Gebrauch. Die Temperatur wird als Maß für die mittlere kinetische Energie der Teilchen eingeführt, es werden Methoden zur Messung von Temperatur und Druck gezeigt und verschiedene Arten von Zustandsänderungen und Kreisprozessen diskutiert und vorgeführt. Vom Modellsystem des idealen Gases zu realen Gasen übergehend, werden grundsätzliche Aspekte von Phasenumwandlungen herausgearbeitet. Die Übungen ermöglichen die aktive Anwendung der Grundbegriffe und die Einübung einer quantitativen Betrachtung. Darüber hinaus werden in den Übungen auch die "Soft Skills" des Vortragens in einer kleinen Runde vermittelt.

Teilnahmevoraussetzungen für Modul bzw. einzelne Veranstaltungen des Moduls

keine

Empfohlene Vorkenntnisse

keine

Zuordnung (Studiengang/Fachbereich)	BSc Physik / FB Physik

Verwendbarkeit	BSc Biowissenschaften
Häufigkeit des Angebots	jährlich
Dauer	einsemestrig
Modulbeauftragte / Modulbeauftragter	Jacoby
Studiennachweise / Prüfungsvorleistungen	
Teilnahmenachweise	regelmäßige Teilnahme an den Übungen
Leistungsnachweise	erfolgreiche Bearbeitung von in der Regel wöchentlichen Übungsaufgaben und exemplarisches Vorrechnen der Lösung zu einer der Übungsaufgaben an der Tafel
Prüfungsvorleistungen	Erbringen aller Leistungsnachweise
Lehr- / Lernformen	Vorlesung, Übung
Unterrichts- / Prüfungssprache	Deutsch
Modulprüfung	
Modulabschlussprüfung, benotet	
bestehend aus:	Klausur (90 Min.) Besondere Hinweise: Eine Notenverbesserung ist in der jeweils nächsten Klausur einmal möglich.

Organisatorische Hinweise

Die Organisation der Übung erfolgt online über OLAT.
Zur Klausur ist eine Anmeldung erforderlich. Der Klausurtermin wird im LSF und durch Aushang am Prüfungsamt des FB Physik bekanntgegeben. Die Anmeldung zur Klausur erfolgt online über QIS. Die Anmeldefrist endet eine Woche vor dem Prüfungstermin, die Rücktrittsfrist endet einen Tag vor dem Prüfungstermin.

Lehrveranstaltungen des Moduls	LV-Form	SWS	CP	Pf/WP	Semester					
					1	2	3	4	5	6
Einführung in die Physik B1 (Introduction to Physics B1)	V+Ü	3+1	5	Pf	X		X		X	
Summe		4	5							

NFPHY-VB2	**Einführung in die Physik B2 für Nebenfachstudierende** (Introduction to Physics B2 for Minors)	Exportmodul	5 CP (insg.) = 150 h		4 SWS
			Kontaktstudium 4 SWS / 60 h	Selbststudium 90 h	

Inhalte

Elektrodynamik: Coulombsches Gesetz, Elektrisches Feld, Bewegung einer Punktladung im E-Feld, Potential und Potentialdifferenz, Potentielle Energie, Kapazität, Dielektrika und elektrostatische Energie, Grundgleichungen der Elektrostatik, Faraday-Käfig, Strom und Magnetfeld, Widerstand und Ohmsches Gesetz, Energie und Leistung des Stroms, Magnetisches Feld, Lorentz-Kraft, Bewegung von Ladungsträgern im E- und B-Feld, Hall-Effekt, Induktionsgesetz, Grundgleichungen der Magnetostatik, Motoren und Generatoren, Magnetismus: Para-, Dia-, Ferro-Magnetismus, Transformator, Wechselstromkreise, Schwingkreis, Maxwell-Gleichung, Elektromagnetische Wellen.
Optik: Dualismus des Lichtes, Elektromagnetische Welle, Ausbreitungsgeschwindigkeit, Wellenlänge, Reflexionsgesetz, Brechungsgesetz, Totalreflexion, Dispersion, Linsen und Abbildungsgleichung, Optische Instrumente: Lupe, Fernrohr, Mikroskop, Interferenz und Beugung, Kohärenz, Michelson-Interferometer, Auflösung des Mikroskops (Abbe), Unschärferelation (Heisenberg), Polarisation, Strahlungsgesetze.

Lernergebnisse/Kompetenzziele

Die Studierenden lernen Konzepte und Inhalte der klassischen Physik kennen und können selbst fachliche Fragen entwickeln. Sie erlangen praktische Kenntnisse und Fähigkeiten im Umgang mit experimentellen Aufgabenstellungen der klassischen Physik und erlernen die Sorgfältigkeit des wissenschaftlichen Arbeitens. Sie können kleine fachwissenschaftliche Texte verfassen.

Teilnahmevoraussetzungen für Modul bzw. einzelne Veranstaltungen des Moduls

keine

Empfohlene Vorkenntnisse

keine

Zuordnung (Studiengang/Fachbereich)	BSc Physik / FB Physik
Verwendbarkeit	BSc Biowissenschaften
Häufigkeit des Angebots	jährlich
Dauer	einsemestrig
Modulbeauftragte / Modulbeauftragter	Podlech
Studiennachweise / Prüfungsvorleistungen	
Teilnahmenachweise	regelmäßige Teilnahme an den Übungen
Leistungsnachweise	erfolgreiche Bearbeitung von in der Regel wöchentlichen Übungsaufgaben und exemplarisches Vorrechnen der Lösung zu einer der Übungsaufgaben an der Tafel
Prüfungsvorleistungen	Erbringen aller Leistungsnachweise
Lehr- / Lernformen	Vorlesung, Übung
Unterrichts- / Prüfungssprache	Deutsch

Modulprüfung	
Modulabschlussprüfung, benotet	
bestehend aus:	Klausur (90 Min.) Besondere Hinweise: Eine Notenverbesserung ist in der jeweils nächsten Klausur einmal möglich.

Organisatorische Hinweise

Die Organisation der Übung erfolgt online über OLAT.
Zur Klausur ist eine Anmeldung erforderlich. Der Klausurtermin wird im LSF und durch Aushang am Prüfungsamt des FB Physik bekanntgegeben. Die Anmeldung zur Klausur erfolgt online über QIS. Die Anmeldefrist endet eine Woche vor dem Prüfungstermin, die Rücktrittsfrist endet einen Tag vor dem Prüfungstermin.

Lehrveranstaltungen des Moduls	LV-Form	SWS	CP	Pf/WP	Semester					
					1	2	3	4	5	6
Einführung in die Physik B2 (Introduction to Physics B2)	V+Ü	3+1	5	Pf		X		X		X
Summe		4	5							

7.2 Praktika

NFPHY-PA1	Physikalisches Praktikum A1 für Nebenfachstudierende (Physics Lab Class A1 for Minors)	Exportmodul	6 CP (insg.) = 180 h		4 SWS
			Kontaktstudium 4 SWS / 60 h	Selbststudium 120 h	

Inhalte

Studierende führen Versuche unter Anleitung aus den Gebieten Mechanik, Thermodynamik und Optik durch. Die Versuche und ihre Ergebnisse müssen im Protokoll beschrieben, analysiert und diskutiert werden.

Lernergebnisse/Kompetenzziele

Im Praktikum erlernen die Studierenden Grundtechniken des Experimentierens. Dabei sollen die Studierenden in der Lage sein, Versuche zur Mechanik, Wärmelehre und Optik zu verstehen, durchzuführen und zu protokollieren. Sie sollen Erfahrungen im Umgang mit Messgeräten gewinnen. Die Experimente werden in Zweiergruppen durchgeführt. Dadurch wird Teamarbeit und die kritische Diskussion physikalischer und technischer Probleme eingeübt. Das Praktikum vermittelt auch die Fähigkeit zur kritischen Einschätzung der Verlässlichkeit experimenteller Daten durch Erlernen der quantitativen Fehlerrechnung.

Teilnahmevoraussetzungen für Modul bzw. einzelne Veranstaltungen des Moduls

Für die Aufnahme in das Praktikum ist die Zulassung zu einer der Klausuren der Module NFPHY-VA1 oder NFPHY-VA2 (bzw. NFPHY-VA1S oder NFPHY-VA2S) erforderlich.

Empfohlene Vorkenntnisse

Inhalt des Moduls NFPHY-VA1 bzw. NFPHY-VA1S

Zuordnung (Studiengang/Fachbereich)	BSc Physik / FB Physik
Verwendbarkeit	BSc Informatik
Häufigkeit des Angebots	jedes Semester
Dauer	einsemestrig
Modulbeauftragte / Modulbeauftragter	Krellner
Studiennachweise	
Teilnahmenachweise	regelmäßige Teilnahme am Praktikum
Leistungsnachweise	Abgabe und Bestehen von Praktikumsprotokollen, Bestehen des Abschlusskolloquiums (in Zweiergruppen, ca. 15 Min. pro Person) (weitere Details werden in der Praktikumsordnung festgelegt)
Lehr- / Lernformen	Praktikum
Unterrichts- / Prüfungssprache	Deutsch

Modulprüfung

keine

Organisatorische Hinweise

Die Anmeldung zum Praktikum erfolgt online über das LSF. Für alle weiteren Informationen siehe ebenfalls den LSF-Eintrag des Praktikums.

Lehrveranstaltungen des Moduls	LV-Form	SWS	CP	Pf/WP	Semester					
					1	2	3	4	5	6
Physikalisches Praktikum A1 (Physics Lab Class A1)	P	4	6	Pf		X	X	X	X	X
Summe		4	6							

NFPHY-PA2	**Physikalisches Praktikum A2 für Nebenfachstudierende** (Physics Lab Class A2 for Minors)	Exportmodul	6 CP (insg.) = 180 h		4 SWS
			Kontaktstudium 4 SWS / 60 h	Selbststudium 120 h	

Inhalte

Studierende führen Versuche unter Anleitung aus dem Gebiet Elektrizitätslehre durch. Die Versuche und ihre Ergebnisse müssen im Protokoll beschrieben, analysiert und diskutiert werden.

Lernergebnisse/Kompetenzziele

Im Praktikum erlernen die Studierenden Grundtechniken des Experimentierens. Dabei sollen die Studierenden in der Lage sein, Versuche zur Elektrizitätslehre zu verstehen, durchzuführen und zu protokollieren. Sie sollen Erfahrungen im Umgang mit Messgeräten gewinnen. Die Experimente werden in Zweiergruppen durchgeführt. Dadurch wird Teamarbeit und die kritische Diskussion physikalischer und technischer Probleme eingeübt. Das Praktikum vermittelt auch die Fähigkeit zur kritischen Einschätzung der Verlässlichkeit experimenteller Daten durch Erlernen der quantitativen Fehlerrechnung.

Teilnahmevoraussetzungen für Modul bzw. einzelne Veranstaltungen des Moduls

Für die Aufnahme in das Praktikum ist die Zulassung zu einer der Klausuren der Module NFPHY-VA1 oder NFPHY-VA2 (bzw. NFPHY-VA1S oder NFPHY-VA2S) erforderlich.

Empfohlene Vorkenntnisse

Inhalt des Moduls NFPHY-VA2 bzw. NFPHY-VA2S

Zuordnung (Studiengang/Fachbereich)	BSc Physik / FB Physik
Verwendbarkeit	BSc Informatik
Häufigkeit des Angebots	jedes Semester
Dauer	einsemestrig
Modulbeauftragte / Modulbeauftragter	Jacoby
Studiennachweise	
Teilnahmenachweise	regelmäßige Teilnahme am Praktikum
Leistungsnachweise	Abgabe und Bestehen von Praktikumsprotokollen, Bestehen des Abschlusskolloquiums (in Zweiergruppen, ca. 15 Min. pro Person) (weitere Details werden in der Praktikumsordnung festgelegt)
Lehr- / Lernformen	Praktikum
Unterrichts- / Prüfungssprache	Deutsch

Modulprüfung

keine

Organisatorische Hinweise

Die Anmeldung zum Praktikum erfolgt online über das LSF. Für alle weiteren Informationen siehe ebenfalls den LSF-Eintrag des Praktikums.

Lehrveranstaltungen des Moduls	LV-Form	SWS	CP	Pf/WP	Semester					
					1	2	3	4	5	6
Physikalisches Praktikum A2 (Physics Lab Class A2)	P	4	6	Pf			X	X	X	X
Summe		4	6							

NFPHY-PB	Physikalisches Praktikum B für Nebenfachstudierende (Physics Lab Class B for Minors)	Exportmodul	6 CP (insg.) = 180 h		6 SWS
			Kontaktstudium 6 SWS / 90 h	Selbststudium 90 h	

Inhalte

Physikalisches Praktikum B1: Im Praktikum werden ausgewählte Versuche aus den Bereichen Mechanik, Thermodynamik und Optik durchgeführt.

Physikalisches Praktikum B2: Im Praktikum werden ausgewählte Versuche aus dem Bereich Elektrodynamik durchgeführt.

Lernergebnisse/Kompetenzziele

Im Praktikum erlernen die Studierenden Grundtechniken des Experimentierens. Die Experimente werden in Zweiergruppen durchgeführt. Dadurch wird Teamarbeit und die kritische Diskussion physikalischer und technischer Probleme eingeübt. Das Praktikum vermittelt auch die Fähigkeit zur kritischen Einschätzung der Verlässlichkeit experimenteller Daten, einer Kernkompetenz jedes Naturwissenschaftlers und jeder Naturwissenschaftlerin.

Teilnahmevoraussetzungen für Modul bzw. einzelne Veranstaltungen des Moduls

Für die Aufnahme in das Praktikum ist die Zulassung zu einer der Klausuren der Module NFPHY-VB1 oder NFPHY-VB2 erforderlich.

Empfohlene Vorkenntnisse

Inhalt des Moduls NFPHY-VB1 für das Praktikum 1, Inhalt des Moduls NFPHY-VB2 für das Praktikum 2

Zuordnung (Studiengang/Fachbereich)	BSc Physik / FB Physik
Verwendbarkeit	BSc Biowissenschaften
Häufigkeit des Angebots	jedes Semester
Dauer	zweisemestrig
Modulbeauftragte / Modulbeauftragter	Jacoby
Studiennachweise	
Teilnahmenachweise	regelmäßige Teilnahme am Praktikum
Leistungsnachweise	Abgabe und Bestehen von Praktikumsprotokollen, Bestehen des Abschlusskolloquiums (in Zweiergruppen, ca. 15 Min. pro Person) (weitere Details werden in der Praktikumsordnung festgelegt)
Lehr- / Lernformen	Praktikum
Unterrichts- / Prüfungssprache	Deutsch

Modulprüfung

keine

Organisatorische Hinweise

Die Anmeldung zum Praktikum erfolgt online über das LSF. Für alle weiteren Informationen siehe ebenfalls den LSF-Eintrag des Praktikums.

Lehrveranstaltungen des Moduls	LV-Form	SWS	CP	Pf/WP	Semester					
					1	2	3	4	5	6
Physikalisches Praktikum B1 (Physics Lab Class B1)	P	3	3	Pf		X	X	X	X	X
Physikalisches Praktikum B2 (Physics Lab Class B2)	P	3	3	Pf			X	X	X	X
Summe		6	6							

NFPHY-PC	Physikalisches Praktikum C für Nebenfachstudierende (Physics Lab Class C for Minors)	Exportmodul	3 CP (insg.) = 90 h		4 SWS
			Kontaktstudium 4 SWS / 60 h	Selbststudium 30 h	

Inhalte

Durchführung von Experimenten unter Anleitung aus den Gebieten Mechanik, Thermodynamik, Elektrodynamik und Optik.

Lernergebnisse/Kompetenzziele

Im Praktikum wenden die Studierenden durch das selbstständige Experimentieren die in den Vorlesungen vermittelten Grundlagen an und vertiefen dadurch ihre physikalischen Kenntnisse. Dazu gehören sowohl der Aufbau und die Durchführung von Versuchen aus gegebenen Bauteilen nach Anleitung als auch die Auswertung, Darstellung und Analyse der Messungen inklusive Fehlerrechnung. Bei der Auswahl der Versuche können die Interessen bzw. das Fachgebiet der Studierenden berücksichtigt werden. Zur Beschleunigung der Datenaufnahme bzw. der Auswertung werden in vielen Versuchen die Erfassung, Darstellung und Analyse der experimentellen Daten rechnergestützt durchgeführt, was auch der Förderung des physikalischen Verständnisses zugutekommt.

Teilnahmevoraussetzungen für Modul bzw. einzelne Veranstaltungen des Moduls

Für die Aufnahme in das Praktikum ist die Zulassung zu einer der Klausuren der Module NFPHY-VA1 oder NFPHY-VA2 (bzw. NFPHY-VA1S oder NFPHY-VA2S) oder der Module NFPHY-VB1 oder NFPHY-VB2 erforderlich.

Empfohlene Vorkenntnisse

Inhalt des Moduls NFPHY-VA1 bzw. NFPHY-VA1S oder NFPHY-VB1

Zuordnung (Studiengang/Fachbereich)	BSc Physik / FB Physik
Verwendbarkeit	BSc Biochemie, BSc Chemie, BSc Geowissenschaften, BSc Biowissenschaften
Häufigkeit des Angebots	jedes Semester
Dauer	einsemestrig
Modulbeauftragte / Modulbeauftragter	Krellner
Studiennachweise	
Teilnahmenachweise	regelmäßige Teilnahme am Praktikum
Leistungsnachweise	Abgabe und Bestehen von Praktikumsprotokollen, Bestehen des Abschlusskolloquiums (in Zweiergruppen, ca. 15 Min. pro Person) (weitere Details werden in der Praktikumsordnung festgelegt)
Lehr- / Lernformen	Praktikum
Unterrichts- / Prüfungssprache	Deutsch

Modulprüfung

keine

Organisatorische Hinweise

Die Anmeldung zum Praktikum erfolgt online über das LSF. Für alle weiteren Informationen siehe ebenfalls den LSF-Eintrag des Praktikums.

Lehrveranstaltungen des Moduls	LV-Form	SWS	CP	Pf/WP	Semester					
					1	2	3	4	5	6
Physikalisches Praktikum C (Physics Lab Class C)	P	4	3	Pf		X	X	X	X	X
Summe		4	3							

Index 1: Modulkürzel

ASTRO1, 216
ASTRO2, 217
ASTRO3, 218

BA, 37
BPH3N, 129

DIDA1, 224
DIDA2, 226

ELEK-A, 220
ELEK-D, 222
EMETBK, 40
EWA, 35

METPK, 42
METWAK, 137

NFPHY-PA1, 240
NFPHY-PA2, 242
NFPHY-PB, 244
NFPHY-PC, 246
NFPHY-VA1, 228
NFPHY-VA1S, 230
NFPHY-VA2, 232
NFPHY-VA2S, 234
NFPHY-VB1, 236
NFPHY-VB2, 238

PEX1, 19
PEX2, 20
PEXF, 21
PEXFK, 39
PGPE, 44
PGPV, 46

VAGR, 56
VANAHEP, 82
VANAHEP2, 83
VART, 54
VARTC, 165
VASTBIO, 167
VATOMM, 214
VCADS, 146
VCPPML, 149
VCPSM, 144
VDFT, 195
VDP, 80
VDRIDE, 190
VEBP, 127
VEFRG, 199
VEX1, 7
VEX2, 10
VEX3A, 12
VEX3B, 14
VEX4A, 15
VEX4B, 17
VEXFP1, 89
VEXFP2, 91
VFSTATP, 193
VGIQ, 161
VGWAV, 169
VHEX, 50
VHQM, 48
VHSTATP, 140
VHYDRO, 173
VHYMAG, 163
VIPY, 211
VIQMPT, 155
VKATOB, 102
VKBEK, 114
VKBEP, 112
VKBPHB, 130
VKEXASTB, 62
VKEXFPB, 99
VKHEPB, 85
VKOSMO, 58
VKPHSB, 106
VKPLAB, 117
VKRISZ, 93
VKT1, 75
VKT2, 76
VKT3, 78
VKT4A, 179
VKT4B, 181
VKT4C, 183
VKT4D, 185
VKT4E, 187
VKT4F, 189
VKTECB, 121
VKTHASTB, 59
VMATH1, 32
VMATH2, 33
VMATH3, 34
VMQT, 159
VMSDA, 157
VNLQM, 52
VNUMP, 142
VPAT, 213
VPROG, 30
VPSOC, 151
VQFT1, 71
VQFT2, 73
VQI, 153
VQMD, 197
VQMPT, 192
VRLEARN, 209
VSELFORG, 148

VSKTG1, 175
VSKTG2, 177
VSTATP, 171
VTH1, 22
VTH2, 24
VTH3, 25
VTH4, 27
VTH5, 28
VTHFP1, 95
VTHFP2, 97
VTHKP1, 67
VTHKP2, 69
VTHNEU, 133
VTHNEU2, 135
VTHPLAS, 207
VTHQO, 205
VTSM, 201
VUKQG, 203
VVAK, 110

Index 2: Modultitel

Advanced General Relativity, 56
Advanced Introduction to C++, Scientific Computing and Machine Learning, 149
Advanced Theoretical Neuroscience, 135
Allgemeine Relativitätstheorie, 54
Allgemeine Relativitätstheorie mit dem Computer, 165
Analogelektronik, 220
Analysemethoden der Experimentellen Hochenergiephysik, 82
Anfängerpraktikum 1, 19
Anfängerpraktikum 2, 20
Astrobiologie, 167
Astronomie I, 216
Astronomie II, 217
Astronomie III, 218

Bachelorarbeit, 37
Beiträge zur Entwicklungsgeschichte der Atomphysik 1850-1930 – mit wichtigen Meilenstein-Beiträgen Frankfurter Physiker, 214
Beschleunigerkonzepte, 114
Beschleunigerphysik, 112
Biophysik 3: Methoden, 129

Complex Adaptive Dynamical Systems, 146
Computational Physics and Simulations in Matlab, 144

Density Functional Theory, 195
Digitalelektronik, 222

Einführung in das wissenschaftliche Arbeiten, 35
Einführung in die Atmosphärendynamik (kompakt), 40
Einführung in die Biophysik, 127
Einführung in die Funktionale Renormierungsgruppe, 199
Einführung in die Geophysik, 44
Einführung in die Physik A1 für Nebenfachstudierende, 228
Einführung in die Physik A1 für Nebenfachstudierende, Abschluss mit Studienleistung, 230
Einführung in die Physik A2 für Nebenfachstudierende, 232
Einführung in die Physik A2 für Nebenfachstudierende, Abschluss mit Studienleistung, 234
Einführung in die Physik B1 für Nebenfachstudierende, 236
Einführung in die Physik B2 für Nebenfachstudierende, 238
Einführung in die Programmierung für Studierende der Physik, 30
Einführung in die Programmierung mit Python, 211
Einführung in die Quantenfeldtheorie und das Standardmodell der Teilchenphysik, 71
Einführung in die Theoretische Festkörperphysik, 95
Einführung in die Theoretische Kern- und Elementarteilchenphysik I, 67
Einführung in die Theoretische Kern- und Elementarteilchenphysik II, 69
Experimentalphysik 1: Mechanik, Thermodynamik, 7
Experimentalphysik 2: Elektrodynamik, 10
Experimentalphysik 3a: Optik, 12
Experimentalphysik 3b: Atome und Quanten, 14
Experimentalphysik 4a: Kerne und Elementarteilchen, 15
Experimentalphysik 4b: Festkörper, 17
Experimentelle Festkörperphysik 1, 89
Experimentelle Festkörperphysik 2, 91

Fortgeschrittene Analysemethoden der Experimentellen Hochenergiephysik, 83
Fortgeschrittene Quantenfeldtheorie und Quantenchromodynamik, 73
Fortgeschrittene Statistische Physik: Nichtgleichgewicht, kritische Phänomene und Renormierungsgruppe, 193
Fortgeschrittenenpraktikum, 21
Fortgeschrittenenpraktikum (kompakt), 39

Gravitationswellen, 169
Grundlagen der Kristallzüchtung, 93
Grundlagen und Interpretationen der Quantenmechanik, 161

Höhere Quantenmechanik, 48
Höhere Statistische Physik: Vielteilchensysteme im Nicht-Gleichgewicht, 140
Höhere Experimentalphysik, 50
Hydrodynamics and Magnetohydrodynamics , 163
Hydrodynamik und Transporttheorie, 173

Introduction to Quantum Many-Particle Theory, 155

Kern- und Teilchenphysik 4a: Elektromagnetische Sonden der subatomaren Materie, 179
Kern- und Teilchenphysik 4b: Physik des Quark-Gluon Plasmas, 181

Kern- und Teilchenphysik 4c: Resonanzphysik der Hadronen, 183
Kern- und Teilchenphysik 4d: Physik schwerer Quarks und Quarkonia, 185
Kern- und Teilchenphysik 4e: Strangeness in Schwerionenkollisionen, 187
Kern- und Teilchenphysik 4f: Das Higgs-Boson, 189
Kosmologie, 58

Mathematik für Studierende der Physik 1, 32
Mathematik für Studierende der Physik 2, 33
Mathematik für Studierende der Physik 3, 34
Meteorologisches Praktikum (kompakt), 42
Meteorologisches Vertiefungsmodul (kompakt), 137
Modern Statistical Data Analysis for Practitioners, 157

Numerische Methoden der Physik, 142

Patentrecht, 213
Photonik und Spektroskopie für BSc-Studierende, 106
Physik der Teilchendetektoren, 80
Physik sozio-ökonomischer Systeme mit dem Computer, 151
Physik von Driftdetektoren, 190
Physikalisches Praktikum A1 für Nebenfachstudierende, 240
Physikalisches Praktikum A2 für Nebenfachstudierende, 242
Physikalisches Praktikum B für Nebenfachstudierende, 244
Physikalisches Praktikum C für Nebenfachstudierende, 246
Physikdidaktik 1, 224
Physikdidaktik 2, 226
Prinzipien moderner Quantentechnologien, 159

Quanteninformation und Ultrakalte Atome, 203
Quantenwahrscheinlichkeit und Informationsverarbeitung, 153
Quantum Molecular Dynamics, 197
Quantum Theory from a Nonlinear Perspective, 52
Quarkstruktur der Materie, 75

Reinforcement Learning, 209

Schwache Wechselwirkung und fundamentale Symmetrien, 76
Self-Organization: Theory and Simulations, 148
Spezielle Themen der angewandten und technischen Physik für BSc-Studierende, 121
Spezielle Themen der Atomphysik für BSc-Studierende, 102
Spezielle Themen der Biophysik für BSc-Studierende, 130
Spezielle Themen der experimentellen Astrophysik für BSc-Studierende, 62
Spezielle Themen der experimentellen Festkörperphysik für BSc-Studierende, 99
Spezielle Themen der Kern- und Elementarteilchenphysik für BSc-Studierende, 85
Spezielle Themen der Plasmaphysik für BSc-Studierende, 117
Spezielle Themen der theoretischen Astrophysik für BSc-Studierende, 59
Starke Kernkraft und Kernmodelle, 78
Statistische Physik und kritische Phänomene, 171

Theoretical Neuroscience, 133
Theoretical Quantum Optics, 205
Theoretische Physik 1: Mathematische Methoden der Theoretischen Physik, 22
Theoretische Physik 2: Klassische Mechanik, 24
Theoretische Physik 3: Klassische Elektrodynamik, 25
Theoretische Physik 4: Quantenmechanik, 27
Theoretische Physik 5: Thermodynamik und Statistische Physik, 28
Theoretische Plasmaphysik, 207
Theorie des Magnetismus, der Supraleitung und der elektronischen Korrelationen, 97
Topological States of Matter, 201

Vakuumphysik, 110
Vertiefung Geophysik, 46
Vielteilchenphysik, 192
Von der Quantenfeldtheorie zu semiklassischen Transportgleichungen I: Vielteilchensysteme im thermischen Gleichgewicht, 175
Von der Quantenfeldtheorie zu semiklassischen Transportgleichungen II: Vielteilchensysteme im Nichtgleichgewicht, 177