



Curriculum für das Masterstudium

Technical Physics

Curriculum 2023 in der Version 2023

Dieses Curriculum wurde vom Senat der Karl-Franzens-Universität Graz in der Sitzung vom 08.03.2017 und vom Senat der Technischen Universität Graz in der Sitzung vom 20.03.2017 genehmigt.

Das Studium ist als gemeinsames Studium (§ 54e UG) der Karl-Franzens-Universität Graz (Uni Graz) und der Technischen Universität Graz (TU Graz) im Rahmen von „NAWI Graz“ eingerichtet. Rechtsgrundlagen für dieses Studium sind das Universitätsgesetz (UG) sowie die Studienrechtlichen Bestimmungen der Satzungen der Uni Graz und der TU Graz in der jeweils geltenden Fassung.

Inhaltsverzeichnis:

I	Allgemeines.....	3
§ 1.	Gegenstand des Studiums und Qualifikationsprofil	3
II	Allgemeine Bestimmungen.....	6
§ 2.	Zulassungsbedingungen:	6
§ 3.	Zuteilung von ECTS-Anrechnungspunkten	7
§ 4.	Gliederung des Studiums	7
§ 5.	Lehrveranstaltungstypen	7
§ 6.	Gruppengrößen	8
§ 7.	Richtlinien zur Vergabe von Plätzen für Lehrveranstaltungen	8
III	Studieninhalt und Studienablauf.....	9
§ 8.	Module, Lehrveranstaltungen und Semesterzuordnung	9
§ 9.	Wahlmodule: Lehrveranstaltungskataloge.....	11
§ 10.	Freifach	16
§ 11.	Masterarbeit	16
§ 12.	Anmeldevoraussetzungen für Lehrveranstaltungen/Prüfungen	17
§ 13.	Auslandsaufenthalte und Praxis	17
IV	Prüfungsordnung und Studienabschluss.....	18
§ 14.	Prüfungsordnung.....	18
§ 15.	Studienabschluss	19
V	In-Kraft-Treten und Übergangsbestimmungen	20
§ 16.	In-Kraft-Treten	20
§ 17.	Übergangsbestimmungen	20
Anhang I	Modulbeschreibungen.....	21



Anhang II	
Studienablauf	42
Anhang III	
Empfohlene Lehrveranstaltungen für das Freifach	43
Anhang IV	
Äquivalenz- und Anerkennungsliste	44
Anhang V	
Glossar.....	45

I Allgemeines

§ 1. Gegenstand des Studiums und Qualifikationsprofil

Das ingenieurwissenschaftliche Masterstudium Technical Physics umfasst vier Semester. Der Gesamtumfang beträgt 120 ECTS-Anrechnungspunkte gem. § 51 Abs. 2 Z 26 UG.

Das Masterstudium Technical Physics wird **gem. § 63a Abs. 8 UG** als fremdsprachiges Studium englischer Sprache durchgeführt.

Absolventinnen und Absolventen dieses Studiums wird der akademische Grad „Diplom-Ingenieurin“ bzw. „Diplom-Ingenieur“, abgekürzt: „Dipl.-Ing.“ oder „DI“ verliehen. Dieser akademische Grad entspricht international dem „Master of Science“, abgekürzt: „MSc“.

(1) Gegenstand des Studiums

Das englischsprachige Masterstudium „Technical Physics“, das gemeinsam von der Technischen Universität Graz und der Karl-Franzens-Universität Graz angeboten wird, vermittelt eine naturwissenschaftlich-technische Ausbildung im Fach Physik.

Physik prägt maßgeblich unser heutiges Weltbild und bildet die Grundlage für andere Wissenschaften und für die Technik. Entsprechend widmet sich das Studium der Technischen Physik der Erforschung fundamentaler Zusammenhänge, den Antworten auf grundlegende Fragen der physikalischen Welt sowie der Anwendung physikalischer Methoden auf technische Problemstellungen. Zu den wesentlichen Zielen der Ausbildung zählen die Schulung folgerichtigen Denkens und das Erlernen von Methoden zur Problemlösung. Typisch für das Studium der Technischen Physik ist, dass über eine solide physikalische und mathematische Ausbildung hinaus auch praxisorientierte techniklebende Fächer und anwendungsorientierte Computermethoden angeboten werden. Die Vermittlung betriebswirtschaftlicher und sozialer Kompetenzen rundet das Studium inhaltlich ab und verleiht Schlüsselqualifikationen, die im Berufsleben ausschlaggebend sind.

Zu einer erfolgreichen Tätigkeit in der beruflichen Praxis ist die Verwendung der englischen Sprache in Wort und Schrift als „Lingua Franca“ in Wissenschaft, Technik und Wirtschaft von grundlegender Bedeutung. Aus diesem Grund wird das Studium vollständig in englischer Sprache durchgeführt.

(2) Qualifikationsprofil und Kompetenzen

Wissen und Verstehen

Nach Absolvierung des Masterstudiums Technische Physik haben die Absolventinnen und Absolventen komplexe wissenschaftliche Methoden kennen und anwenden gelernt. Sie sind in der Lage, Besonderheiten, Grenzen, Terminologien und Lehrmeinungen ihres Fachgebiets zu definieren und zu interpretieren.

Die Absolventinnen und Absolventen haben ihr fachspezifisches Wissen in den Bereichen

- Statistical and Computational Physics,
- Advanced Quantum Mechanics and Atom Physics und
- Advanced Solid State Physics and Radiation Physics

vertieft und sich mit den Grundlagen von Business and Entrepreneurship auseinandergesetzt.

Wahlweise haben sie Spezialkenntnisse in mehreren der folgenden 13 Themenbereiche erworben und angewendet:

- Applied Materials Physics, Semiconductor Devices, Surface Science
- Computational Condensed Matter Physics, Modelling of Materials, Theoretical Solid State Physics, Quantum Many-Body Physics
- Nanoscience, Nano and Laser Optics, Quantum Optics and Molecular Physics
- Radiation and Plasma Physics, Laboratory Technology and Instrumentation, Microscopy and Nanoanalysis

Wissensbasiertes Anwenden und Beurteilen

Das Masterstudium Technische Physik befähigt Absolventinnen und Absolventen

- sich in einem Spezialgebiet der Technischen Physik so zu spezialisieren, dass sie Anschluss an die aktuelle internationale Forschung finden können;
- ihnen gestellte natur- und ingenieurwissenschaftliche Aufgaben eigenverantwortlich zu bearbeiten;
- moderne wissenschaftliche Methoden anzuwenden und komplexe Abläufe mit aktuellen Verfahren der Computersimulation zu analysieren;
- auch fernab des im Masterstudium vertieften Spezialgebietes beruflich tätig zu werden und dabei ihr physikalisches Grundwissen zusammen mit den erlernten wissenschaftlichen Methoden und Problemlösungsstrategien auch in neuen und unvertrauten Situationen einzusetzen;
- Problemstellungen auch in anderen Wissenschaftszweigen (z.B. Mathematik, Chemie, Medizin und Umweltsystemwissenschaften) zu bearbeiten.

Kommunikative, organisatorische und soziale Kompetenzen

Die Absolventinnen und Absolventen werden mit grundlegenden Fähigkeiten ausgestattet, welche es ihnen ermöglichen, auf Basis ihrer fachlichen Kompetenz, kritische und analytische Denkansätze weiter zu entwickeln, sich selbständig neues Wissen anzueignen, sowie in forschungs- und anwendungsorientierten Aufgabenstellungen zielgerichtet tätig zu sein.

Sie besitzen das notwendige Durchhaltevermögen, um in Projekten mit Schwierigkeiten umzugehen und gegebenenfalls mit modifizierter Strategie dennoch zum Ziel zu kommen.

Darüber hinaus sind sie in der Lage, ihre Ergebnisse und Lösungsstrategien im Kontext der aktuellen internationalen Forschung umfassend zu dokumentieren und mit modernen Kommunikations- und Präsentationstechniken zu vermitteln.

Die Absolventinnen und Absolventen erlangen durch interdisziplinäre Ausbildung die Fähigkeit zu fachübergreifender Zusammenarbeit und Kommunikation in Projekt-Teams.

Sie sind sich ihrer Verantwortung gegenüber der Wissenschaft und möglicher Folgen ihrer Tätigkeit für Umwelt und Gesellschaft bewusst.

(3) Bedarf und Relevanz des Studiums für die Wissenschaft und für den Arbeitsmarkt

Physikerinnen und Physiker verfügen sowohl über ausgezeichnete Fachqualifikationen als auch über jene wertvolle, häufig als physikalische Denkweise bezeichnete Kernkompetenz, die sich aus einer Kombination von solidem naturwissenschaftlichen Wissen, Vertrautheit mit praktischen Methoden (experimentell, theoretisch und computerorientiert), hohem analytischen Denkvermögen und ausgeprägter Problemlösungsfähigkeit ergibt. Sie gelten daher als universelle Problemlöser besonders in innovativen Branchen, zeichnen sich durch hohe Berufs- und Branchenflexibilität aus und sind als hervorragend qualifizierte Fachleute in Industrie, Wirtschaft und Wissenschaft breit einsetzbar.

Physikerinnen und Physiker sind vor allem in folgenden Branchen tätig:

- Hochschulen sowie andere Bildungs- und Forschungseinrichtungen
- Datenverarbeitung
- Elektronik und Elektrotechnik
- Feinmechanik und Optik
- Maschinen- und Fahrzeugbau
- Gesundheitswesen und öffentlicher Dienst
- Dienstleistungssektor und sonstige Dienstleistungen für Unternehmen

Das Masterstudium vermittelt auch die Voraussetzungen zu selbstständigem wissenschaftlichen Arbeiten im Rahmen eines Doktoratsstudiums.

II Allgemeine Bestimmungen

§ 2. Zulassungsbedingungen:

- (1) Die Zulassung zu einem Masterstudium setzt den Abschluss eines fachlich in Frage kommenden Bachelorstudiums im Ausmaß von mindestens 180 ECTS-Anrechnungspunkten oder eines anderen fachlich in Frage kommenden Studiums mindestens desselben hochschulischen Bildungsniveaus an einer anerkannten inländischen oder ausländischen postsekundären Bildungseinrichtung voraus (§ 64 Abs. 3 UG).
- (2) Das Masterstudium Technical Physics baut auf dem Bachelorstudium Physik im Rahmen von NAWI-Graz auf. Absolventinnen und Absolventen dieses Studiums erfüllen jedenfalls die Zulassungsvoraussetzungen für das Masterstudium „Technical Physics“. Zusätzlich erfüllen Absolventinnen und Absolventen von Bachelorstudien der Physik aus dem Europäischen Hochschulraum die Zulassungsvoraussetzungen.
- (3) Absolventinnen und Absolventen eines anderen Bachelorstudiums Physik im Umfang von 180 ECTS-Anrechnungspunkten erfüllen ebenfalls die Zulassungsvoraussetzungen, wenn sie folgende Inhalte umfassen: **Experimentelle Physik** (Mechanik, Wärme, Elektrizität, Magnetismus, Atome-Molekül-Kern-Teilchen-Physik, Optik plus entsprechender Laborübungen und Praktika) im Umfang von mindestens 40 ECTS, **Theoretische Physik** (Mechanik, Elektrodynamik, Quantenmechanik, Thermodynamik plus Übungen) im Umfang von mindestens 35 ECTS, **Mathematik** (Analysis, Differential- und Integralrechnung, Differentialgleichungen, Funktionentheorie, Vektoranalysis, Wahrscheinlichkeitstheorie/Statistik plus Übungen) im Umfang von mindestens 40 ECTS, **Programmiererfahrung** im Umfang von mindestens 5 ECTS.
- (4) Studien an einer anerkannten in- oder ausländischen postsekundären Bildungseinrichtung im Umfang von zumindest 180 ECTS-Anrechnungspunkten, welche den Inhalt eines Bachelorstudiums Physik wie unter (3) beschrieben in geringerem Ausmaß anbieten, kommen fachlich in Frage. Für die Zulassung können Ergänzungsprüfungen aus dem NAWI-Bachelorstudium Physik im Ausmaß von maximal 30 ECTS-Anrechnungspunkten aus den in Abs. 3 genannten Bereichen vorgeschrieben werden, um wesentliche Unterschiede im qualifizierenden Bachelorstudium auszugleichen. Maximal 5 ECTS-Anrechnungspunkte der Ergänzungsprüfungen können als frei wählbare Lehrveranstaltungen in diesem Masterstudium anerkannt werden.
- (5) Sind die wesentlichen fachlichen Unterschiede des absolvierten Studiums so groß, dass sie mit Ergänzungsprüfungen im Ausmaß von 30 ECTS-Anrechnungspunkten nicht ausgeglichen werden können, dann ist eine Zulassung nicht möglich.
- (6) Um einen Gesamtumfang der aufbauenden Studien von 300 ECTS-Anrechnungspunkten zu erreichen, ist die Zuordnung ein und derselben Lehrveranstaltung sowohl im zur Zulassung berechtigenden Bachelorstudium als auch im gegenständlichen Masterstudium ausgeschlossen.

§ 3. Zuteilung von ECTS-Anrechnungspunkten

Allen von den Studierenden zu erbringenden Leistungen werden ECTS-Anrechnungspunkte zugeteilt. Mit diesen ECTS-Anrechnungspunkten ist der relative Anteil des mit den einzelnen Studienleistungen verbundenen Arbeitspensums zu bestimmen, wobei das Arbeitspensum eines Jahres 1500 Echtstunden zu betragen hat und diesem Arbeitspensum 60 ECTS-Anrechnungspunkte zugeteilt werden (entsprechend einem Umfang von 25 Echtstunden je ECTS-Anrechnungspunkt). Das Arbeitspensum umfasst den Selbststudienanteil und die Semesterstunden. Eine Semesterstunde entspricht 45 Minuten pro Unterrichtswoche des Semesters.

§ 4. Gliederung des Studiums

Das Masterstudium Technical Physics mit einem Arbeitsaufwand von 120 ECTS-Anrechnungspunkten umfasst vier Semester und ist wie folgt modular strukturiert:

	ECTS
Pflichtmodul A: Statistical and Computational Physics	10
Pflichtmodul B: Advanced Quantum Mechanics and Atom Physics	10
Pflichtmodul C: Advanced Solid State Physics and Radiation Physics	10
Pflichtmodul D: Business and Entrepreneurship	4.5
3 Physikalische Vertiefungsmodulare (je 9 ECTS)	27
Allgemeines Wahlmodul	15.5
Freifach	10
Masterseminar	2
Masterarbeit	30
Masterprüfung	1
Summe	120

§ 5. Lehrveranstaltungstypen

- (1) Vorlesungen (VO)*: Sie dienen der Einführung in die Methoden des Fachgebietes und der Vermittlung von Überblicks- und Spezialkenntnissen aus dem gesicherten Wissensstand, aus dem aktuellen Forschungsstand und aus besonderen Forschungsbereichen des Faches.
- (2) Vorlesungen mit Übungen (VU)*: Dabei erfolgt sowohl die Vermittlung von Überblicks- und Spezialkenntnissen als auch die Vermittlung von praktischen Fähigkeiten. Die Lehrveranstaltungen besitzen immanenten Prüfungscharakter.
- (3) Übungen (UE)*: Übungen haben den praktischen Zielen der Studien zu entsprechen und dienen der Lösung konkreter Aufgaben. Die Lehrveranstaltungen besitzen immanenten Prüfungscharakter.
- (4) Laborübungen (LU)*: Laborübungen dienen der Vermittlung und praktischen Übung experimenteller Techniken und Fähigkeiten. Die Lehrveranstaltungen besitzen immanenten Prüfungscharakter.

- (5) Seminare (SE)*: Sie dienen der eigenständigen wissenschaftlichen Arbeit und der wissenschaftlichen Diskussion darüber, wobei eine schriftliche Ausarbeitung eines Themas und dessen mündliche Präsentation geboten werden soll. Darüber ist eine Diskussion abzuhalten. Diese Lehrveranstaltungen besitzen immanenten Prüfungscharakter.
- (6) Projekte (PT)*: In Projekten werden experimentelle, theoretische und/oder konstruktive angewandte Arbeiten bzw. kleine Forschungsarbeiten unter Berücksichtigung aller erforderlichen Arbeitsschritte durchgeführt. Projekte werden mit einer schriftlichen Arbeit abgeschlossen, die einen Teil der Beurteilung bildet.

* Es gelten die in der Satzung Studienrecht (Uni Graz) bzw. Richtlinie (TU Graz) der beiden Universitäten festgelegten Lehrveranstaltungstypen bzw. -arten. Siehe § 1 Abs. 3 des studienrechtlichen Satzungsteiles der Uni Graz bzw. Richtlinie über Lehrveranstaltungstypen der Curricula-Kommission des Senates der TU Graz vom 6.10.2008 (verlautbart im Mitteilungsblatt der TU Graz vom 3.12.2008).

§ 6. Gruppengrößen

Bei den nachfolgenden Lehrveranstaltungstypen werden folgende maximale Teilnehmendenzahlen (Gruppengrößen) festgelegt:

- (1) Für Übungen (UE) und für Übungsanteile von Vorlesungen mit integrierten Übungen (VU) ist die maximale Gruppengröße 25. Für integrierte Laborübungen bei Lehrveranstaltungen vom Typ VU ist die maximale Gruppengröße 6.
- (2) Für Laborübungen (LU) **ohne einen experimentellen Laboranteil** ist die maximale Gruppengröße 6.
- (3) Für Projekte (PT) und Seminare (SE) ist die maximale Gruppengröße 20.
- (4) **Für Laborübungen (LU) mit einem experimentellen Laboranteil ist die maximale Gruppengröße 3**

§ 7. Richtlinien zur Vergabe von Plätzen für Lehrveranstaltungen

- (1) Melden sich mehr Studierende zu einer Lehrveranstaltung an als verfügbare Plätze vorhanden sind, sind parallele Lehrveranstaltungen vorzusehen, im Bedarfsfall auch in der vorlesungsfreien Zeit.
- (2) Können nicht im ausreichenden Maß parallele Lehrveranstaltungen (Gruppen) angeboten werden, sind Studierende nach folgender Prioritätsordnung in die Lehrveranstaltung aufzunehmen:
 - a. Die Lehrveranstaltung ist für die/den Studierende/n verpflichtend im Curriculum vorgeschrieben.
 - b. Die Summe der im betreffenden Studium positiv absolvierten Lehrveranstaltungen (Gesamt ECTS-Anrechnungspunkte)
 - c. Das Datum (Priorität früheres Datum) der Erfüllung der Teilnahmevoraussetzung.

- d. Studierende, welche bereits einmal zurückgestellt wurden oder die Lehrveranstaltung wiederholen müssen, sind bei der nächsten Abhaltung der Lehrveranstaltung bevorzugt aufzunehmen.
- e. Die Note der Prüfung- bzw. der Notendurchschnitt der Prüfungen (gewichtet nach ECTS-Anrechnungspunkten) - über die Lehrveranstaltung(en) der Teilnahmevoraussetzung
- f. Studierende, für die solche Lehrveranstaltungen zur Erfüllung des Curriculums nicht notwendig sind, werden lediglich nach Maßgabe freier Plätze berücksichtigt; die Aufnahme in eine eigene Ersatzliste ist möglich. Es gelten sinngemäß die obigen Bestimmungen.
- (3) An Studierende, die im Rahmen von Mobilitätsprogrammen einen Teil ihres Studiums an den an NAWI Graz beteiligten Universitäten absolvieren, werden vorrangig bis zu 10% der vorhandenen Plätze vergeben.

III Studieninhalt und Studienablauf

§ 8. Module, Lehrveranstaltungen und Semesterzuordnung

Die einzelnen Lehrveranstaltungen dieses Masterstudiums und deren Gliederung in Pflicht- und Wahlmodule sind nachfolgend angeführt. Die in den Modulen zu vermittelnden Kenntnisse, Methoden oder Fertigkeiten werden im Anhang I näher beschrieben. Die Zuordnung der Lehrveranstaltungen zur Semesterfolge ist eine Empfehlung und stellt sicher, dass die Abfolge der Lehrveranstaltungen optimal auf Vorwissen aufbaut und das Arbeitspensum des Studienjahres 60 ECTS-Anrechnungspunkte nicht überschreitet. Die Zuordnung der Lehrveranstaltungen zu den beteiligten Universitäten erfolgt in Anhang II und § 9.

Masterstudium Technical Physics								
Modul	Lehrveranstaltung	SSt.	LV		Semester mit ECTS-Anrechnungspunkten			
			Typ	ECTS	I	II	III	IV
Pflichtmodul A: Statistical and Computational Physics								
	Statistical Physics ¹	2	VO	4	4			
	Statistical Physics ¹	1	UE	2	2			
	Computer Simulations	3	VU ²	4		4		
Zwischensumme Pflichtmodul A		6		10	6	4	0	0
Pflichtmodul B: Advanced Quantum Mechanics and Atom Physics								
	Advanced Quantum Mechanics ¹	2	VO	4	4			
	Advanced Quantum Mechanics ¹	1	UE	2	2			
	Advanced Atomic and Molecular Physics	2	VO	4		4		
Zwischensumme Pflichtmodul B		5		10	6	4	0	0
Pflichtmodul C: Advanced Solid State Physics and Radiation Physics								
	Advanced Solid State Physics	3	VO	6	6			
	Radiation Physics	2	VO	4		4		
Zwischensumme Pflichtmodul C		5		10	6	4	0	0

Pflichtmodul D: Business and Entrepreneurship								
Zu absolvieren ist entweder D.1 oder D.2 zusammen mit D3.								
D.1	Encyclopedia Business Economics	3	VO	4.5		4.5		
D.2	Enabling Innovation	1	VO	1.5		1.5		
D.3	Enabling Innovation	2	UE	3		3		
Zwischensumme Pflichtmodul D				4.5		4.5		
Summe Pflichtmodule				34.5	18	16.5	0	0
3 Physikalische Vertiefungsmodule (je 9 ECTS, lt. §9a)				27				0
Allgemeines Wahlmodul lt. §9b				15.5				0
Summe Wahlmodule lt. § 9				42.5	9	9	24.5	0
Masterseminar ^{3, 4}				2				2
Masterarbeit				30				30
Masterprüfung				1				1
Freifach lt. § 10				10	3	4.5	2.5	0
Summe Gesamt				120	30	30	27	33

¹: gemeinsame Abhaltung mit Masterstudium „Physics“.

²: 2/3 SSt./Vorlesungsteil, 1/3 SSt./Übungsteil.

³: Diese Lehrveranstaltung wird mit „mit Erfolg teilgenommen“ bzw. „ohne Erfolg teilgenommen“ beurteilt.

⁴: Studierende, die das Masterseminar an der TU Graz oder KF Graz absolvieren, müssen dies in Abstimmung mit deren Betreuer wählen.

§ 9. Wahlmodule: Lehrveranstaltungskataloge

A. Physikalische Vertiefungsmodule

Es sind 3 Physikalische Vertiefungsmodule zu absolvieren. Aus jedem gewählten Vertiefungsmodul sind jeweils genau 3 Lehrveranstaltungen zu absolvieren. Die mit (◆) gekennzeichneten Lehrveranstaltungen in einem gewähltem Modul müssen absolviert werden. Lehrveranstaltungen vom Typ LU können nur im Rahmen des gewählten Moduls absolviert werden – davon ausgenommen sind die Lehrveranstaltungen „Measurement Techniques and Probe Analysis“ und „Computer Supported Measurement Techniques“ (Modul G), welche auch im Allgemeinen Wahlmodul verwendet werden können, **wenn genügend Plätze vorhanden sind.**

Physikalische Vertiefungsmodule (alphabetische Reihenfolge)							
Modul / Lehrveranstaltung	SSt.	LV Typ	ECTS	Semester zu-ordnung		Uni-Graz ¹	TU-Graz ¹
				WS	SS		
Modul E: Applied Materials Physics							
◆ Research Laboratory Applied Materials Physics	2	LU ⁵	3	X	X		X
Functional Materials	2	VO	3	X			X
Soft Matter Physics	2	VO	3		X		X
Structurally Complex Materials	2	VO	3	X			X
Structural Transformations and Diffusion in Materials	3	VU ²	3		X		X
Modul F: Computational Condensed Matter Physics							
◆ Research Laboratory Advanced Computational Physics	2	LU ⁶	3	X	X		X
Numerical Simulation of Strongly Correlated Many-Body Models	2	VU ²	3	X			X
Quantum Dynamics	2	VU ²	3	X			X
Ab-initio Methods for Correlated Materials	2	VO	3	X			X
Computational Methods in Nanophysics	2	VU ³	3	X		X	
Modul G: Laboratory Technology and Instrumentation							
Eine der beiden Laborübungen (LU) ist zu absolvieren:							
◆ Measurement Techniques and Probe Analysis	2	LU ⁵	3	X	X		X
◆ Computer Supported Measurement Techniques	2	LU ⁶	3	X			X
Vacuum Technology	2	VO	3	X		X	X
X-ray and Neutron Scattering	2	VO	3		X		X
Ultrasound Methods	2	VO	3		X	X	
Signal Theory and Signal Processing	2	VU ²	3		X	X	X
Optical Measurement Techniques	2	VO	3	X			X
Tomography for Materials Characterization	2	VO	3		X	X	X

Physikalische Vertiefungsmodule (alphabetische Reihenfolge)							
Modul / Lehrveranstaltung	SSt.	LV Typ	ECTS	Semester zu- ordnung		Uni- Graz ¹	TU- Graz ¹
				WS	SS		
Modul H: Microscopy and Nanoanalysis							
◆ Electron Microscopy 1	2	VO	3	X			X
◆ Advanced 2D and 3D Nanoanalysis	2	VU ²	3		X		X
Electron Microscopy 2	2	VO	3		X		X
Structuring of Material Surfaces and Functional Nanofabrication	2	VO	3	X			X
X-ray and Neutron Scattering	2	VO	3		X		X
Research Laboratory Microscopy and Nanoanalysis	2	LU ⁵	3	X	X		X
Modul I: Modelling of Materials⁴							
◆ Fundamentals of Electronic Structure Theory	2	VO	3	X		X	X
◆ Simulating Materials Properties from First Principles	2	UE	3		X	X	X
Applications of Electronic Structure Methods	2	VO	3		X		X
Ab-initio Methods for Correlated Materials	2	VO	3	X			X
Advanced Electronic Structure Theory	2	VO	3		X	X	X
Modelling of Molecular Systems	2	VO	3	X			X
Modul J: Nano and Laser Optics⁴							
◆ Optics: a Photonics Perspective	2	VO	3	X		X	
◆ Research Laboratory Nano and Laseroptics	2	LU ⁵	3	X	X	X	X
Nano Optics	2	VO	3		X	X	
Laser Physics	2	VO	3	X		X	
Ultrafast Laser Physics	2	VO	3		X		X
Modul K: Nanoscience							
◆ Nanostructures and Nanotechnology	2	VO	3		X		X
◆ Research Laboratory Nanoscience	2	LU ⁵	3	X	X		X
Chemical Fundamentals of Nanoscience	2	VO	3	X			X
Theory of Magnetism and Collective Phenomena	2	VO	3	X			X
Functional Nanofabrication	2	VO	3				X
Theoretical Nano- and Quantum Optics	2	VO	3		X	X	
Modul L: Quantum Many-Body Physics							
◆ Quantum Theory of Many-Body Systems	2	VU ²	3		X	X	X
Introduction to Correlated Many-Body Systems	2	VU ²	3	X			X
Many-Body Systems out of Equilibrium	2	VU ²	3	X			X
Open Quantum Systems	2	VU ²	3	X			X
Modul M: Quantum Optics and Molecular Physics⁴							
◆ Optics: a Spectroscopy Perspective	2	VO	3	X			X
◆ Research Laboratory Quantum Optics and Molecular Physics	2	LU ⁵	3	X	X	X	X
Laser Physics	2	VO	3	X		X	
Ultrafast Laser Physics	2	VO	3		X		X

Physikalische Vertiefungsmodule (alphabetische Reihenfolge)							
Modul / Lehrveranstaltung	SSt.	LV Typ	ECTS	Semester zu- ordnung		Uni- Graz ¹	TU- Graz ¹
				WS	SS		
Quantum Optics	2	VO	3		X		X
Modelling of Molecular Systems	2	VO	3	X			X
Modul N: Radiation and Plasma Physics							
◆ Applied Radiation Physics	2	VO	3	X			X
◆ Research Laboratory Radiation and Plasma Physics	2	LU ^{5,6}	3	X			X
Plasma Physics	2	VO	3	X			X
Fusion Physics	2	VO	3	X			X
Kinetic Theory in Plasma Physics	2	VO	3		X		X
Modul O: Semiconductor Devices							
◆ Physics of Semiconductor Devices	2	VO	3	X			X
◆ Research Laboratory Semiconductor Devices	2	LU ⁵	3	X	X		X
Microelectronics and Micromechanics	2	VO	3		X		X
Organic Semiconductors	2	VO	3		X		X
Modelling and Simulation of Semiconductors	2	VO	3		X		X
Modul P: Surface Science							
◆ Surface Science	2	VO	3	X		X	
◆ Experimental Methods in Surface Science	2	LU ⁵	3		X	X	X
Molecular Interfaces	2	VO	3		X	X	
Scanning Probe Techniques	2	VO	3		X	X	
Synchrotron Radiation Techniques	2	VO	3	X		X	
Thin Film Science and Processing	2	VO	3		X		X
Surface Chemistry	2	VO	3		X		X
Vacuum Technology	2	VO	3	X		X	X
Modul Q: Theoretical Solid State Physics ⁴							
◆ Quantum Theory of Many-Body Systems	2	VU ²	3		X	X	X
Fundamentals of Electronic Structure Theory	2	VO	3	X		X	X
Theory of Magnetism and Collective Phenomena	2	VO	3	X			X
Theory of Superconductivity	2	VO	3	X			X
Phase Transitions and Critical Phenomena	2	VO	3	X			X
Modul R: Photon Science ⁴							
◆ Research Laboratory Photon Science	2	LU ⁵	3	X	X	X	X
Laser Spectroscopy	2	VO	3	X			X
Structured Light and Nanoscale Wave Phenomena	2	VO	3	X		X	
Photonics: Light, Matter, and Time	2	VO	3		X		X
Optical Waveguides, Photonic Circuitry and Applications	2	VO	3		X	X	
Optical Measurements Techniques	2	VO	3	X			X

¹: Zuordnung der Lehrveranstaltung zu den beteiligten Universitäten. Beide Universitäten sind genannt, wenn die Lehrveranstaltung von beiden Universitäten gemeinsam, parallel oder im Wechsel angeboten werden.

²: 2/3 SSt./Vorlesungsteil, 1/3 SSt./Übungsteil.

³: 1/3 SSt./Vorlesungsteil, 2/3 SSt./Übungsteil.

⁴: Gemeinsames Modul im gegenständlichen Masterstudium „Technical Physics“ und im Masterstudium „Physics“.

⁵: experimentelles Labor

⁶: theoretisches Labor

Studierende, die mindestens ein Semester an einer Universität im Ausland studieren, sind berechtigt Vertiefungsmodule gemäß § 9 durch physikalisch orientierte Module, die sie dort absolvieren, zu ersetzen, sofern diese Prüfungen von dem zuständigen studienrechtlichen Organ anerkannt werden. Hiervon unbenommen ist die Anerkennung von weiteren Prüfungen gemäß UG § 78 (1), soweit sie den im Curriculum vorgeschriebenen Prüfungen gleichwertig sind.

B. Allgemeines Wahlmodul

Im Rahmen des Allgemeinen Wahlmoduls sind Lehrveranstaltungen im Umfang von 15.5 ECTS-Anrechnungspunkten zu absolvieren.

Folgende Lehrveranstaltungen können gewählt werden:

- Lehrveranstaltungen aus dem Katalog der o.g. Vertiefungsmodule, die nicht im gewählten Vertiefungsmodul absolviert werden; ausgenommen hiervon sind die Laborübungen (siehe Erläuterungen unter Punkt A Vertiefungsmodule).
- Pflicht- und Wahllehrveranstaltungen des NAWI-Graz Masterstudiums „Physics“ unter Berücksichtigung der jeweiligen Anmeldevoraussetzungen.
- Lehrveranstaltungen zur Vertiefung einer Fremdsprache (**nur Englisch oder Deutsch, wenn diese Sprache nicht die Muttersprache ist**) im Umfang von max. 3 ECTS-Anrechnungspunkten.
- Lehrveranstaltungen aus dem nachfolgenden Katalog „Allgemeines Wahlmodul“.
- **Deutschsprachige Lehrveranstaltungen aus dem nachfolgenden Katalog „Bachelor- Physik“ des NAWI-Graz Bachelorstudiums Physik unter Berücksichtigung von §2 (4).**

Lehrveranstaltungskatalog: Allgemeines Wahlmodul							
Lehrveranstaltung	SSt.	LV Typ	ECTS	Semesterzuordnung		Uni-Graz ¹	TU-Graz ¹
				WS	SS		
Master's Project ²	0.5	PT	6	X	X	X	X
Special Topics of Technical Physics: [Untertitel] ³							X
Programming in Physics: Maintainable Software Projects	4	VU ⁴	4	X			X
MATHEMATICA for Theoretical Physics: Symbolic and Numerical Computation	4	VU ⁴	4		X		X
Kinetic Equations for Classical and Quantum Mechanical Systems	2	VO	3	X			X
Advanced Statistical Physics	2	VO	3	X		X	X
Functional Materials II	0.66	VO	1		X		X
Physics of Sustainable Energy	2	VO	3	X			X
Weltraumplasmaphysik	1	VO	2		X		X
Fortgeschrittene Weltraumplasmaphysik	1	VO	2		X		X
Aktive Plasmaexperimente im Weltraum	1	VO	2		X		X
Business and Entrepreneurship:							
Encyclopedia Business Economics	2	UE	2		X		X
Product Innovation Project ⁵	3	PT	5	X			
Product Innovation Project 2	2	PT	3		X		
Implementation Innovation Strategy Through Merger & Acquisition – Essential for Engineers	2	SE	3	X			X

¹ Zuordnung der Lehrveranstaltung zu den beteiligten Universitäten. Beide Universitäten sind genannt, wenn die Lehrveranstaltung von beiden Universitäten gemeinsam, parallel oder im Wechsel angeboten werden.

² Projekt zur Vorbereitung der Masterarbeit, dass nur bei der Betreuerin oder dem Betreuer der Masterarbeit absolviert werden kann.

³ Es können Lehrveranstaltungen mit dem Titel „Special Topics of Technical Physics (Untertitel)“ dem Allgemeinen Wahlmodul zugeordnet werden, wobei eine Semesterwochenstunde in der Regel 1.5 ECTS-Anrechnungspunkten entspricht. Diese Lehrveranstaltungen werden mit charakterisierenden Untertiteln im Ausmaß von 1-3 SSt. VO und/oder 1-2 SSt. UE angeboten. Dabei sind Lehrveranstaltungen mit verschiedenen Untertiteln als unterschiedliche Lehrveranstaltungen zu werten.

⁴ 1/3 SSt./Vorlesungsteil, 2/3 SSt./Übungsteil.

⁵ Lehrveranstaltung wird auf Antrag für das Pflichtmodul D: „Business and Entrepreneurship“ anerkannt.

Lehrveranstaltungskatalog: Bachelor Physik							
Lehrveranstaltung	SSt.	LV Typ	ECTS	Semesterzuordnung		Uni-Graz ¹	TU-Graz ¹
				WS	SS		
Physikalische Grundlagen der Materialkunde ²	3	VO	4.5		X		X
Kontinuumsphysik ²	2	VU ³	3		X		X
Kryotechnik, Vakuumtechnik und Analysemethoden ²	3	VO	4.5		X		X
Moderne Kapitel der Theoretischen Physik ²	2	VU ³	3		X	X	
Moderne Kapitel der Experimentellen Physik ²	2	VU ³	3		X	X	

¹ Zuordnung der Lehrveranstaltung zu den beteiligten Universitäten. Beide Universitäten sind genannt, wenn die Lehrveranstaltung von beiden Universitäten gemeinsam, parallel oder im Wechsel angeboten werden.

² **Abhaltung in deutscher Sprache. Empfohlen für Studierende, die Physik im NAWI-Bachelorstudium Physik nicht absolviert haben.**

³ 2/3 SSt./Vorlesungsteil, 1/3 SSt./Übungsteil.

§ 10. Freifach

- (1) Die im Rahmen des Freifaches im Masterstudium Technical Physics zu absolvierenden Lehrveranstaltungen dienen der individuellen Schwerpunktsetzung und Weiterentwicklung der Studierenden und können frei aus dem Lehrveranstaltungsangebot aller anerkannten in- und ausländischen Universitäten sowie aller inländischen Fachhochschulen und pädagogischen Hochschulen gewählt werden. Anhang III enthält eine Empfehlung für frei wählbare Lehrveranstaltungen.
- (2) Sofern einer frei zu wählenden Lehrveranstaltung keine ECTS-Anrechnungspunkte zugeordnet sind, wird jede Semesterstunde (SSt.) dieser Lehrveranstaltung mit einem ECTS-Anrechnungspunkt bewertet. Sind solche Lehrveranstaltungen jedoch vom Typ Vorlesung (VO), so werden ihnen 1,5 ECTS-Anrechnungspunkte pro SSt zugeordnet.
- (3) Weiters besteht gemäß § 13 die Möglichkeit, eine berufsorientierte Praxis oder kurze Studienaufenthalte im Ausland im Rahmen des Freifaches zu absolvieren.

§ 11. Masterarbeit

- (1) Die Masterarbeit dient dem Nachweis der Befähigung, wissenschaftliche Themen selbstständig sowie inhaltlich und methodisch **korrekt** zu bearbeiten. Die Aufgabenstellung der Masterarbeit ist so zu wählen, dass für die Studierende oder den Studierenden die Bearbeitung innerhalb von sechs Monaten möglich und zumutbar ist.
- (2) Das Thema der Masterarbeit ist aus einem der **physikalischen** Pflicht- oder Wahlmodule zu entnehmen. Über Ausnahmen entscheidet das zuständige studienrechtliche Organ.
- (3) Die Masterarbeit ist vor Beginn der Bearbeitung über das zuständige Dekanat unter Einbindung des zuständigen studienrechtlichen Organs anzumelden. Zu erfassen sind dabei das Thema, das Fachgebiet, dem das Thema zugeordnet ist, sowie die Betreuerin bzw. der Betreuer mit Angabe des Instituts.
- (4) Für die Masterarbeit werden 30 ECTS-Anrechnungspunkte festgelegt.
- (5) Die Masterarbeit ist in gedruckter sowie in elektronischer Form zur Beurteilung einzureichen.

§ 12. Anmeldevoraussetzungen für Lehrveranstaltungen/Prüfungen

- (1) Die Zulassungsvoraussetzung zur kommissionellen Masterprüfung ist der Nachweis der positiven Beurteilung aller Prüfungsleistungen gemäß §§ 8 bis 9 sowie die positiv beurteilte Masterarbeit.
- (2) Studierende, die nach § 2 (3) Zulassungsvoraussetzungen für das Masterstudium Technical Physics zu erfüllen haben, müssen diese vor der Teilnahme an Laborübungen (LU) und an Vorlesungen mit Übungen (VU) mit Laborübungsanteil positiv absolviert haben.

§ 13. Auslandsaufenthalte und Praxis

- (1) **Empfohlene Auslandsstudien**
Studierenden wird empfohlen, in ihrem Studium ein Auslandssemester zu absolvieren. Dafür kommen in diesem Masterstudium insbesondere das zweite und dritte Semester in Frage. Während des Auslandsstudiums absolvierte Module bzw. Lehrveranstaltungen werden bei Gleichwertigkeit vom Studienrechtlichen Organ anerkannt. Zur Anerkennung von Prüfungen bei Auslandsstudien wird auf § 78 Abs. 5 UG verwiesen (Vorausbescheid).
Ferner können auf Antrag an das zuständige studienrechtliche Organ auch die erbrachten Leistungen von kürzeren Studienaufenthalten im Ausland, wie beispielsweise die aktive Teilnahme an internationalen Sommer- bzw. Winterschulen, im Rahmen des Freifaches anerkannt werden.
- (2) **Praxis**
Im Rahmen des Freifachs besteht die Möglichkeit, eine berufsorientierte Praxis zu absolvieren.
Dabei entsprechen jeder Arbeitswoche im Sinne der Vollbeschäftigung 1,5 ECTS-Anrechnungspunkte, wobei es kein Maximum von ECTS-Anrechnungspunkten gibt. Als Praxis gilt auch die aktive Teilnahme an einer wissenschaftlichen Veranstaltung. Diese Praxis ist von den zuständigen studienrechtlichen Organen zu genehmigen und hat in sinnvoller Ergänzung zum Studium zu stehen.

IV Prüfungsordnung und Studienabschluss

§ 14. Prüfungsordnung

Lehrveranstaltungen werden einzeln beurteilt.

- (1) Über Lehrveranstaltungen, die in Form von Vorlesungen (VO) abgehalten werden, hat die Prüfung über den gesamten Inhalt der Lehrveranstaltung zu erfolgen. Prüfungen können mündlich, schriftlich oder in Form einer Prüfungsarbeit erfolgen. Eine Kombination der Prüfungsmethoden ist zulässig.
- (2) Über Lehrveranstaltungen, die in Form von Vorlesungen mit integrierten Übungen (VU), Übungen (UE), Laborübungen (LU), Konstruktionsübungen (KU), Projekten (PT), Seminaren (SE), Seminar/Projekten (SP) und Exkursionen (EX) abgehalten werden, erfolgt die Beurteilung laufend auf Grund von Beiträgen, die von den Studierenden geleistet werden und/oder durch begleitende Tests. Jedenfalls hat die Beurteilung aus mindestens zwei Teilleistungen zu bestehen.
- (3) Der positive Erfolg von Prüfungen ist mit „sehr gut“ (1), „gut“ (2), „befriedigend“ (3) oder „genügend“ (4) und der negative Erfolg ist mit „nicht genügend“ (5) zu beurteilen. Das Masterseminar wird mit "mit Erfolg teilgenommen", bzw. "ohne Erfolg teilgenommen" beurteilt.
- (4) Besteht ein Modul aus mehreren Prüfungsleistungen, die Lehrveranstaltungen entsprechen, so ist die Modulnote zu ermitteln, indem
 - a. die Note jeder dem Modul zugehörigen Prüfungsleistung mit den ECTS-Anrechnungspunkten der entsprechenden Lehrveranstaltung multipliziert wird,
 - b. die gemäß lit. a. errechneten Werte addiert werden,
 - c. das Ergebnis der Addition durch die Summe der ECTS-Anrechnungspunkte der Lehrveranstaltungen dividiert wird und
 - d. das Ergebnis der Division erforderlichenfalls auf eine ganzzahlige Note gerundet wird. Dabei ist bei Nachkommawerten, die größer als 0,5 sind aufzurunden, sonst abzurunden.
 - e. Eine positive Modulnote kann nur erteilt werden, wenn jede einzelne Prüfungsleistung positiv beurteilt wurde.
 - f. Lehrveranstaltungen, deren Beurteilung ausschließlich die erfolgreiche bzw. nicht erfolgreiche Teilnahme bestätigt, sind in diese Berechnung laut lit. a. bis d. nicht einzubeziehen.
- (5) Die kommissionelle Masterprüfung besteht aus
 - Präsentation der Masterarbeit (maximal 20 Minuten),
 - Verteidigung der Masterarbeit (Prüfungsgespräch),
 - jeweils einer mündlichen Prüfung über Themen aus einem experimentell orientierten Modul und einem theoretisch orientierten Modul gemäß §§ 8 und 9, computerorientierte Module zählen zu den theoretisch orientierten Modulen. Einem der beiden Modulen ist die Masterarbeit zuzuordnen.

Die Themen werden vom zuständigen studienrechtlichen Organ der Universität der Zulassung auf Vorschlag der Kandidatin/des Kandidaten festgelegt. Die

Gesamtzeit der kommissionellen Masterprüfung beträgt im Regelfall 60 Minuten und hat 75 Minuten nicht zu überschreiten.

- (6) Dem Prüfungssenat der Masterprüfung gehören die Betreuerin oder der Betreuer der Masterarbeit und zwei weitere Mitglieder an, die nach Anhörung der Kandidatin oder des Kandidaten vom zuständigen studienrechtlichen Organ nominiert werden. Den Vorsitz führt ein Mitglied des Prüfungssenates, welches nicht Betreuerin oder Betreuer der Masterarbeit ist. Die Vorsitzende oder der Vorsitzende und das weitere Mitglied dürfen nicht dem Physikinstitut (TU Graz) oder dem Fachbereich des Physikinstituts (Uni Graz) angehören, an dem die Masterarbeit angefertigt wurde.
- (7) Die Note dieser kommissionellen Prüfung wird vom Prüfungssenat festgelegt.
- (8) Im Sinne eines zügigen Studienfortschrittes ist bei allen Lehrveranstaltungen mit immanentem Prüfungscharakter das Nachreichen, Ergänzen oder Wiederholen von Teilleistungen, jedenfalls mindestens einer von der Lehrveranstaltungsleiterin oder dem Lehrveranstaltungsleiter festzulegenden Teilleistung, bis spätestens vier Wochen nach Ende der Lehrveranstaltung zu ermöglichen. Endet die Anmeldefrist einer aufbauenden Lehrveranstaltung innerhalb dieses Zeitraumes, so muss diese Gelegenheit bis zum Ende der Anmeldefrist ermöglicht werden. Ausgenommen von dieser Bestimmung sind Laborübungen.
- (9) Für die An- und Abmeldung sowie für die Durchführung von Prüfungen gelten die Bestimmungen der Satzung jener Universität, die mit der Durchführung der gegenständlichen Prüfung betraut ist. Wird eine Prüfung von beiden Universitäten gemeinsam durchgeführt, ist im Online-System zu veröffentlichen, welche Satzung zur Anwendung kommt. Diese Regelungen gelten sowohl für Vorlesungen (punktuelle Prüfung) als auch für Lehrveranstaltungen mit prüfungsimmanentem Charakter.

§ 15. Studienabschluss

- (1) Mit der positiven Beurteilung der Lehrveranstaltungen aller Pflicht- und Wahlmodule, des Freifaches, der Masterarbeit und der kommissionellen Masterprüfung wird das Masterstudium abgeschlossen.
- (2) Über den erfolgreichen Abschluss des Studiums ist ein Abschlusszeugnis auszustellen. Das Abschlusszeugnis über das Masterstudium Technical Physics enthält
 - a. eine Auflistung aller Module (Prüfungsfächer) gemäß § 4 (inklusive ECTS-Anrechnungspunkte, ohne Modulkennbuchstabe) und deren Beurteilungen,
 - b. Titel und Beurteilung der Masterarbeit,
 - c. die Beurteilung der abschließenden kommissionellen Prüfung,
 - d. den Gesamtumfang in ECTS-Anrechnungspunkten des Freifaches gemäß § 10 sowie

e. die Gesamtbeurteilung des Studiums.

Die Gesamtbeurteilung des Studiums hat „bestanden“ zu lauten, wenn jedes Modul sowie die Masterarbeit und die kommissionelle Masterprüfung positiv beurteilt wurden. Diese Gesamtbeurteilung hat „mit Auszeichnung bestanden“ zu lauten, wenn weder ein Modul noch die Masterarbeit und die kommissionelle Masterprüfung mit einer schlechteren Beurteilung als „gut“ beurteilt wurden und mindestens die Hälfte der Beurteilungen (Module, Masterarbeit, kommissionelle Masterprüfung) die Note „sehr gut“ aufweist.

V In-Kraft-Treten und Übergangsbestimmungen

§ 16. In-Kraft-Treten

Dieses Curriculum 2023 [in der Version 2023](UNIGRAZonline Abkürzung 23W, TUGRAZonline Abkürzung 23U) tritt mit dem 1. Oktober 2023 in Kraft.

Curriculum	Version	UNIGRAZonline Abkürzung	TUGRAZonline Abkürzung	Veröffentlicht im Mitteilungsblatt Uni Graz	Veröffentlicht im Mitteilungsblatt TU Graz
2023	2023	23W	23U	xx.xx.xxxx Stück, zz	xx.xx.xxxx Stück, zz

§ 17. Übergangsbestimmungen

Studierende des Masterstudiums Technische Physik, die bei Inkrafttreten der Änderung des Curriculums am 1.10.2023 dem Curriculum in der Version 2017 unterstellt sind, werden mit 1.10.2023 dem Curriculum in der vorliegenden Version 2023 unterstellt.

Studierende, welche das TU-Bachelorstudium Technische Physik nach dem Curriculum 2013 bzw. nach einem weiter vorhergehenden Curriculum abgeschlossen haben und das NAWI-Masterstudium Technical Physics nach dem vorliegenden Curriculum 2023 beginnen bzw. sich diesem unterstellen, haben anstelle der Lehrveranstaltungen Statistical Physics, VO (2 SSt, 4 ECTS-Anrechnungspunkte) und Statistical Physics, UE (1 SSt, 2 ECTS-Anrechnungspunkte) die Lehrveranstaltungen Elektrodynamik, VO (2 SSt, 4 ECTS-Anrechnungspunkte) und Elektrodynamik, UE (1 SSt, 2 ECTS-Anrechnungspunkte) zu absolvieren.

Anhang zum Curriculum des Masterstudiums Technical Physics

Anhang I.

Modulbeschreibungen

Compulsory module	Statistical and Computational Physics
ECTS credit points	10
Subject content	<p><u>Statistical Physics</u>: Introduction; probability; classical statistical physics (microcanonical, canonical and grand canonical ensembles, ideal gas, etc.); quantum statistics (density operator, ensembles, Bose-Einstein and Fermi-Dirac statistics, ideal Bose gas, black-body radiation, etc.)</p> <p><u>Exercises Statistical Physics</u>: Addressing and working out explicit examples of the topics discussed in class</p> <p><u>Computational Simulations</u>: Introduction to modern techniques of computer simulations e.g. Markov chain Monte Carlo, optimisations, molecular dynamics, finite element methods</p>
Learning outcomes	<p>After having participated successfully in the module, students are able to</p> <ul style="list-style-type: none"> • understand the basic principles of statistical physics and computational physics; • apply advanced methods in quantum theory, and • perform successful standard-type calculations in these fields. <p>After having completed the module, students have gained</p> <ul style="list-style-type: none"> • profound knowledge of classical statistical physics and some aspects of quantum statistics, and • they are familiar with some of the most important methods of computer simulations and their range of applicability.
Teaching and learning activities and methods:	Lectures, exercise courses with problem sets
Previous knowledge expected	Theory courses at bachelor's level and programming knowledge
Frequency of offer: Every year	

Compulsory module	Advanced Quantum Mechanics and Atom Physics
ECTS credit points	10
Subject content	<p><u>Advanced Quantum Mechanics</u></p> <ul style="list-style-type: none"> ● Extension beyond the hydrogen atoms: covalent bond and LCAO, Born-Oppenheimer approximation, van der Waals interaction ● Advanced aspects of angular momentum theory: <ul style="list-style-type: none"> ○ addition of angular momentum ○ the Wigner-Eckart theorem and selection rules ● Identical particles ● Particle in a classical electromagnetic field, gauge invariance, Landau levels ● Second quantisation (fermions, bosons, electromagnetic field) ● Matter/radiation interaction: transition rates, etc. ● Scattering theory in one and three dimensions (introductory) ● Path integral <p><u>Exercises Advanced Quantum Mechanics</u> Addressing and working out explicit examples of the topics discussed in class</p> <p><u>Advanced Atomic and Molecular Physics</u> Interference, laser and high-frequency spectroscopy: principles and experimental setup. Basics of theoretical molecular physics: molecular formation, molecular binding, interaction with light, molecular symmetry. Rotational, vibrational, and electronic excitations in polyatomic systems. Theoretical molecular spectroscopy. Short introduction to selected topics of quantum chemistry and cluster physics</p>
Learning outcomes	<p>After having participated successfully in the module, students are able to</p> <ul style="list-style-type: none"> ● understand the principles of advanced quantum mechanics, including the composition of angular momenta, identical particles, matter/radiation interaction and scattering theory; ● address and solve problems in these fields, and ● link abstract knowledge to concrete problems in atomic and molecular physics. <p>After having completed the module, students have gained</p> <ul style="list-style-type: none"> ● an understanding of advanced aspects of quantum mechanics: angular momentum, identical particles and second quantisation, matter/radiation interaction and scattering theory; ● knowledge of classical as well as modern spectroscopic setups and their application to measurements of rotational, vibrational or electronic transitions, and ● deeper insights into abstract concepts of quantum mechanics through concrete applications in atomic and molecular physics.
Teaching and learning activities and methods: Lectures, exercise classes	
Previous knowledge expected	Quantum mechanics and electrodynamics at bachelor's level
Frequency of offer: Every year	

Compulsory module	Advanced Solid State Physics and Radiation Physics
ECTS credit points	10
Subject content	<p>Advanced Solid State Physics: The calculation and interpretation of photon, phonon and electron dispersion relations and densities of states, photoemission; determination of the equilibrium thermodynamic properties from the densities of states; electrons in a magnetic field: the quantum Hall effect, the Shubnikov-de Haas effect and the de Haas-van Alphen effect; phase transitions: structural, magnetism, ferroelectricity, piezoelectricity, superconductivity, Peierls transition, Landau theory; optical properties of materials: linear response theory, Kramers-Kronig relations, optical absorption, ellipsometry; electrical and thermal transport: Boltzmann equation; crystal symmetries; quasiparticles: plasmons, polarons, polaritons, excitons, magnons, Raman spectroscopy, EELS; electron-electron interactions: Fermi liquid theory, screening, Mott transition, single-electron effects, Hubbard model</p> <p>Radiation Physics: Basic experimental and theoretical concepts of nuclear physics (scattering of particles by nuclei, nuclear models, nuclear fission); types of ionising radiation (photons, charged and neutral particles), their detection and measurement and their specific interaction with matter; natural radiation sources; effects of ionising radiation on biological systems, dosimetry; concepts of radiation protection and its legal aspects; application of ionising radiation in medicine for diagnosis and therapy; application of nuclear methods in materials science</p>
Learning outcomes	<p>After having participated successfully in the module, students are able to</p> <ul style="list-style-type: none"> • calculate any property of any crystal starting from the microscopic arrangement of the atoms, and • understand the principles of radiation physics, incl. radiation detection and dosimetry, radiation protection and application of ionising radiation. <p>After having completed the module, students have gained</p> <ul style="list-style-type: none"> • a fundamental understanding of crystalline solids, and • basic knowledge of radiation physics and its application.
Teaching and learning activities and methods: Lectures, laboratory course, independent project	
Previous knowledge expected	Knowledge of solid state physics, thermodynamics, electrodynamics, quantum mechanics and experimental physics at bachelor's level
Frequency of offer: Every year	

Compulsory module	Business and Entrepreneurship
ECTS credit points	4.5
Subject content	<p>The compulsory module Business and Entrepreneurship is an essential element of the master's programme in Technical Physics, providing students with basic business knowledge that is important for their professional career. Students must take one of the lecture courses Encyclopaedia Business Economics or Enabling Innovation.</p> <p>In the course Encyclopaedia Business Economics, students are introduced to business economics, including topics such as financial accounting, marketing, purchasing, human resource management, capital investment and financial management. Moreover, the enterprise is illustrated as a process-orientated value chain.</p> <p>The course Enabling Innovation provides students with basic knowledge of industrial innovation. The following topics are covered: Basics of Innovation, Models of Innovation Management, Idea Generation, Idea Acceptance, Idea Implementation, Innovation Marketing, Intellectual Property Rights (IPR), Entrepreneurship.</p> <p>There is the option of taking further courses related to this module within the General Elective Module.</p>
Learning outcomes	<p>After successful completion of the course Encyclopaedia Business Economics, students have a basic understanding of the principles of business economics. Furthermore, students are able to apply the discussed tools as efficient controlling instruments in enterprises.</p> <p>After successful completion of the course Enabling Innovation, the students have acquired a general understanding of product innovation management and the innovation process. The students know the basic tasks of product innovation management. They are familiar with methods related to the innovation process and are able to choose and apply the learned methods in different situations.</p>
Teaching and learning activities and methods: Lectures, exercises, seminars	
Previous knowledge expected	None
Frequency of offer: Every year	

Specialisation module	Applied Materials Physics
ECTS credit points	9
Subject content	<p>◆ <u>Research Laboratory Applied Materials Physics</u>: Characterisation and analysis of basic structural and functional materials with a focus on current developments in the field of applied materials physics</p> <p><u>Functional Materials</u>: Physics and applications of electroceramics, energy materials (batteries, fuel cells, hydrogen storage) and superconductors</p> <p><u>Soft Matter Physics</u>: Introduction to colloids, gels, liquid crystals, polymers and some biological systems regarding structural, mechanical and optical properties; hierarchical structures and self-assembly processes</p> <p><u>Structurally Complex Materials</u>: Specific, structure-related physical properties of e.g. intermetallic compounds, quasicrystals, amorphous and nanocrystalline materials</p> <p><u>Structural Transformations and Diffusion in Materials</u>: Fundamentals of diffusion in e.g. metals, semiconductors, ceramics and ionic conductors in relation to technologically relevant processes</p>
Learning outcomes	<p>After having participated successfully in the module, students are able to</p> <ul style="list-style-type: none"> • understand the foundations of the different materials classes such as metals, ceramics, polymers and composites; • assess the relation between the atomic structure, microstructure, kinetic processes and the resulting properties of functional and structural materials, and • use modern experimental equipment and methods for the characterisation of materials and the analysis of materials processes. <p>After having completed the module, students have gained</p> <ul style="list-style-type: none"> • profound knowledge of different classes of materials and their application as functional and structural materials, and • an insight into the application potentials of materials.
Teaching and learning activities and methods: Lectures, laboratory course	
Previous knowledge expected	Experimental physics, solid state physics
Frequency of offer: Mandatory courses (◆) every year; others at least every two years	

Specialisation module	Computational Condensed Matter Physics
ECTS credit points	9
Subject content	<p>Numerical simulations play a major role in the theoretical treatment of condensed matter problems as well as in quantum chemistry. The module provides an overview of most of the common numerical algorithms and how they are applied to realistic problems. Guided by several examples, results for static and dynamical observables in and out of equilibrium are discussed. The course focuses on the challenging problems encountered in novel materials with an emphasis on correlation effects, which are the driving force for many interesting physical properties such as collective magnetism, Mott insulators, the Kondo effect, giant magnetoresistance, and many more.</p> <p>◆ <u>Research Laboratory Advanced Computational Physics</u>: Addressing and working out explicit examples of the topics discussed in the lectures described below</p> <p><u>Numerical Simulations of Strongly Correlated Many-body Models</u>: The lecture provides an introduction to the models used to describe correlation effects in novel materials and to the numerical approaches to handling the corresponding challenging numerical tasks. The focus in the lecture is on equilibrium properties of models such as the Hubbard, Holstein, Anderson impurity, Kondo and Heisenberg models used to study electronic, phononic and spin degrees of freedom and their mutual interactions.</p> <p><u>Quantum Dynamics</u>: Introduction to the time evolution of highly entangled many-body quantum systems. Discussion of quantum phenomena and applications. Integrability and analytical approaches, mostly in one space dimension. Highly efficient representations, numerical techniques. Programming and investigation of examples</p> <p><u>Ab Initio Methods for Correlated Materials</u>: Introduction to correlations and correlated materials; localised basis sets (Wannier functions); Hubbard model and calculation of interaction parameters; (non-)Fermi liquids; the dynamical mean field theory and the Mott-Hubbard transition</p> <p><u>Computational Methods in Nanophysics</u>: Computational approaches in solid-state physics, with an emphasis on dynamic processes e.g. spontaneous magnetisation and self-consistency; quantum interference effects in qubit control; spin-selective transport in semiconductor heterostructures; Andreev reflection, etc.</p>
Learning outcomes	<p>After having participated successfully in the module, students have acquired profound knowledge of how to model the key features of realistic materials. They have obtained an overview of the various numerical simulation techniques and they have learned how to develop large-scale computer codes. Based on the content of the courses in the module, students are able to join international research groups immediately and to collaborate at the forefront of research in condensed matter physics.</p>
Teaching and learning activities and methods: Lectures, exercise courses and laboratory courses	
Previous knowledge expected	Theory courses at bachelor's level, plus advanced quantum mechanics



Frequency of offer:
Mandatory courses (◆) every year; others at least every two years

Specialisation module	Laboratory Technology and Instrumentation
ECTS credit points	9
Subject content	<p>◆ <u>Measurement Techniques and Probe Analysis</u>: Selection of advanced laboratory courses in the fields of optics, interferometry, spectrography, physics of lasers, solid state and surface physics</p> <p>◆ <u>Computer-supported Measurement Techniques</u>: Laboratory course on the structure, function and programming of a microcontroller in combination with hardware control for automated measurement tasks and process controlling (assembler codes, C-codes, LabVIEW codes)</p> <p><u>Vacuum Technology</u>: Gas kinetics, pumps, pressure measurements, vacuum chambers, safety</p> <p><u>X-ray and Neutron Scattering</u>: Basic principles of elastic and inelastic scattering techniques to study the structure and dynamics of materials at an atomic and molecular level</p> <p><u>Ultrasound Methods</u>: Ultrasound generation, propagation, and behaviour in various media and across interfaces. Ultrasound as an analysis tool incl. imaging</p> <p><u>Signal Theory and Signal Processing</u>: Introduction to concepts of digital signal processing (spectral analysis and digital filtering, fast transforms, physics of noise, correlation measurement techniques) incl. a laboratory course with practical examples and test programs for real-time data analysis</p> <p><u>Optical Measurement Techniques: Introduction to optical spectroscopy methods for physics, chemistry and biological sciences with focus on providing knowledge for estimating applicability ranges of various methods, and on basics of spectroscopy instruments.</u></p> <p><u>Tomography for Materials Characterization: Introduction to tomography for material characterization with focus on electron tomography, photons (X-ray tomography) and photoacoustic tomography</u></p>
Learning outcomes	<p>After having participated successfully in the module, students are able to</p> <ul style="list-style-type: none"> • understand how physical principles and phenomena can be examined and characterised experimentally, and • use and apply modern experimental equipment and methods. <p>After having completed the module, students have gained</p> <ul style="list-style-type: none"> • experience of working scientifically by using experimental equipment or connecting experimental hardware for control and analysis by a computer, and • competence and practical knowledge for the application of various measurement techniques.
Teaching and learning activities and methods: Lectures, lecture/practical, laboratory course	
Previous knowledge expected	Knowledge of solid state physics, experimental and computational techniques at bachelor's level
Frequency of offer: Mandatory courses (◆) every year; others at least every two years	

Specialisation module	Microscopy and Nanoanalysis
ECTS credit points	9
Subject content	<p>Correlating the atomic and nanoscale structure of condensed matter with physical properties and functionality lies at the heart of a wide range of critical technologies. Electron scattering and diffraction instruments are uniquely positioned to address technological challenges with simultaneous spatial, reciprocal and spectroscopic information of a material in two and three dimensions.</p> <p>◆ <u>Electron Microscopy 1</u>: Overview of electron microscopic instrumentation and techniques. Principles of image formation, contrast mechanisms, resolution.</p> <p>◆ <u>Advanced 2D and 3D Nanoanalysis</u>: Advanced imaging and spectroscopic methods and 3D techniques. Aberration-corrected TEM/STEM, electron tomography, electron beam monochromation and applications, EELS data processing and MLLS fitting based mapping. Practical exercises</p> <p><u>Electron Microscopy 2</u>: Fundamentals of nanoanalytical methods. Special chapters about in-situ and atomic resolution applications. Industrial applications.</p> <p><u>Structuring of Material Surfaces and Functional Nanofabrication</u>: The lecture gives an introduction in functional fabrication with focus on the nanoscale. As such, it discusses general deposition techniques but in particular those methods, which enable a controlled, localized structuring with feature sizes below 100 nm</p> <p><u>X-ray and Neutron Scattering</u>: Basic principles of elastic and inelastic scattering techniques to study the structure and dynamics of materials at the atomic and molecular level</p> <p><u>Research Laboratory Microscopy and Nanoanalysis</u>: Practical training in the laboratory applying advanced experimental techniques related to current research topics in nanoscience</p>
Learning outcomes	<p>After having participated successfully in the module, students are able to</p> <ul style="list-style-type: none"> • understand the functionalities of electron microscopes and spectrometers for SEM and (S)TEM as well as other diffraction techniques; • interpret variations in image contrast, intensity and signal-to-noise ratio that result from electron specimen interactions; • understand diffraction effects and patterns and relate information to the crystallography of the specimen; • assess what microscopy and/or spectroscopy techniques in 2D or 3D are adequate for particular research and formulate a strategy for specimen preparation, microscopy observation and analysis, and • use modern experimental equipment and methods of nanoscience. <p>After having completed the module, students have gained</p> <ul style="list-style-type: none"> • profound knowledge of microscopy and nanoanalysis techniques; • an insight into the potential of electron scattering and diffraction instruments, and • specialised competence for material characterisation.



Teaching and learning activities and methods: Lectures, lecture/practical, laboratory course	
Previous knowledge expected	Basics in solid state physics, experimental and computational techniques at bachelor's level
Frequency of offer: Mandatory courses (◆) every year; others at least every two years	

Specialisation module	Modelling of Materials
ECTS credit points	9
Subject content	<p>Students are introduced to modern simulation techniques for electronic and nuclear motion in atoms, molecules and bulk structures. They are trained to solve topical problems inspired by current research and industrial needs.</p> <p>◆ <u>Fundamentals of Electronic Structure Theory</u>: Electronic band structure, free-electron bands and tight-binding approximation. SCF approximation; DFT; basis functions; full-potential and pseudopotential approach; advanced topics</p> <p>◆ <u>Simulating Materials Properties from First Principles</u>: Tutorial and scientific exercise. Molecular properties, excitations, vibrations, visualisation, band-structure calculations, ab initio MD, interaction-driven Mott transition</p> <p><u>Applications of Electronic Structure Methods</u>: Interpretation of electronic structure calculations; global structure determination; ab initio thermodynamics; vibrations; phonon bands and heat transport; optical and core-level excitations; scanning probe experiments</p> <p><u>Ab Initio Methods for Correlated Materials</u>: Introduction to correlated materials; localised basis sets; Hubbard model and calculation of interaction parameters; (non-)Fermi liquids; dynamical mean field; Mott-Hubbard model</p> <p><u>Advanced Electronic Structure Theory</u>: Going beyond semi-local functionals. Perturbative approaches beyond DFT – G0W0 and GW. Dispersion corrections; RPA; the Bethe-Salpeter equation for simulating excitations; time-dependent DFT (alte Beschreibung)</p> <p><u>Modelling of Molecular Systems</u>: Non-Born-Oppenheimer effects; rovibronic interactions; group theory; excited states; post-Hartree-Fock techniques; solvation, QM/MM embedding; reaction dynamics and transition state theory</p>
Learning outcomes	<p>The module offers a solid methodical and computational background as well as practical knowledge regarding programme packages and libraries at the edge of current research. Participants are equipped with substantial knowledge in the field of materials modelling and electronic structure theory, which makes them valuable job candidates at materials research facilities.</p>
Teaching and learning activities and methods: Lectures, laboratory course	
Previous knowledge expected	Quantum mechanics, electrodynamics, advanced quantum mechanics
Frequency of offer: Mandatory courses (◆) every year; others at least every two years	

Specialisation module	Nano and Laser Optics
ECTS credit points	9
Subject content	<p>◆ Optics - a Photonics Perspective: Light and matter; interference and diffraction; beam and pulse propagation; layered media and waveguides; microscopy; sources and detectors</p> <p>◆ Research Laboratory Nano and Laser Optics: Practical training in advanced experimental techniques with the opportunity to choose topics according to interests and lectures attended</p> <p>Nano Optics: Super-resolution microscopy; near-field microscopy; quantum emitters; photonic crystals; plasmonics; metamaterials</p> <p>Laser Physics: Emission and absorption; Einstein coefficients; laser theory and rate equations; optical resonators and modes; laser pulses; laser types; laser safety</p> <p>Ultrafast Laser Physics: Introduction to the state-of-the-art research field of femtosecond time-resolved molecular spectroscopy: generation and amplification of femtosecond laser pulses; pulse propagation in media, dispersion compensation; pulse characterisation; methods and examples of femtosecond time-resolved spectroscopy; strong field effects; applications</p>
Learning outcomes	<p>After having participated successfully in the module, students are able to</p> <ul style="list-style-type: none"> • understand and apply the concepts of ray and wave optics; • understand and apply the concepts of optical material properties and light-matter interaction at all length scales, and • understand and apply the physical and technical principles of (ultrafast) lasers. <p>After having completed the module, students have gained</p> <ul style="list-style-type: none"> • the ability to design optical and laser setups, and • the basis for a master's thesis in a research laboratory in the fields of modern optics and photonics.
Teaching and learning activities and methods: Lectures, laboratory course	
Previous knowledge expected	Experimental physics, quantum mechanics, electrodynamics and mathematical concepts at bachelor's level
Frequency of offer: Mandatory courses (◆) every year; others at least every two years	

Specialisation module	Nanoscience
ECTS credit points	9
Subject content	<p>◆ <u>Nanostructures and Nanotechnology</u>: Overview of physical nanoscience: physics of low-dimensional systems. Electronic transport and magnetic properties on the nanoscale. Nanoparticles, nanocrystalline and nanoporous materials. Lateral nanostructuring. Nanowires, nanotubes and nanodots. Scanning probe techniques</p> <p>◆ <u>Research Laboratory Nanoscience</u>: Practical training in the laboratory with advanced experimental techniques related to current research topics of nanoscience</p> <p><u>Chemical Fundamentals of Nanoscience</u>: Chemical fundamentals of making nanoparticles. Precipitation; sol-gel processes; dendrimers; supramolecular structures; carbon-based nanoparticles; toxicity of nanoparticles</p> <p><u>Theory of Magnetism and Collective Phenomena</u>: Magnetic exchange mechanisms; models for magnetic materials; response functions and phase transitions, Brown theory of micromagnetism; magnetic domains</p> <p><u>Functional Nanofabrication</u>: Overview of technologies that allow the defined fabrication of (functional) surface structures on the microscale and nanoscale</p> <p><u>Theoretical Nano- and Quantum Optics</u>: Quantisation of the electromagnetic field, basic concepts of quantum optics; Green's function; optical near fields; surface plasmons</p>
Learning outcomes	<p>After having participated successfully in the module, students are able to</p> <ul style="list-style-type: none"> understand the basic principles of low-dimensional systems and the methods of the interdisciplinary research field of nanoscience; assess the relation between the structure and the properties of nanoscale materials, and use modern experimental equipment and methods of nanoscience. <p>After having completed the module, students have gained</p> <ul style="list-style-type: none"> profound knowledge of nanoscience, allowing them to make use of specialist literature; an insight into the application potentials of nanotechnology, and specialised competence in the field of one of the elective courses e.g. in the application of theoretical concepts in nanoscience.
Teaching and learning activities and methods: Lectures, laboratory course	
Previous knowledge expected	Knowledge of solid state physics, quantum mechanics, experimental and computational techniques at bachelor's level
Frequency of offer: Mandatory courses (◆) every year; others at least every two years	

Specialisation module	Quantum Many-body Physics
ECTS credit points	9
Subject content	<p>◆ Quantum Theory of Many-Body Systems: Correlation functions and linear response, Fermionic and Bosonic single-particle Green's functions, Perturbation theory and Feynman diagrams, Simple approximations: Hartree-Fock, Random Phase Approximation, Screening</p> <p><u>Introduction to Correlated Many-body Systems</u> Introduction to topical problems in strongly correlated many-body physics. Models such as the Hubbard, Heisenberg, tJ and Kondo model are derived in second quantisation. In the framework of the Green's function formalism, electronic, magnetic, and optical properties are studied.</p> <p><u>Many-body Systems out of Equilibrium</u> Non-equilibrium Green's functions and Keldysh contour. Perturbation theory and diagrams. Steady state. Quantum transport. Derivation of Boltzmann equations. Impurity scattering. Electron-electron and electron-phonon interactions. Time-dependent phenomena</p> <p><u>Open Quantum Systems</u> Classical master equation: time evolution of probabilities. Reduced density matrix of an open system. Elimination of degrees of freedom. Lindblad equation. Microscopic derivation. Solution methods. Applications to quantum computer, decoherence and quantum measurement, quantum optics, quantum dots</p>
Learning outcomes	<p>After having participated successfully in the module, students</p> <ul style="list-style-type: none"> ● have gained an overview of modern aspects of many-body physics; ● have acquired a deeper understanding of many-body quantum systems in and out of equilibrium, especially in connection with solid state physics, and ● have learned several theoretical approaches to evaluate their properties, which are used for the research carried out at the Institute of Theoretical and Computational Physics.
Teaching and learning activities and methods: Interactive classes with alternating lectures, tasks and exercises	
Previous knowledge expected	Quantum mechanics at master's level. Elements of quantum statistics
Frequency of offer: Mandatory courses (◆) every year; others at least every two years	

Specialisation module	Quantum Optics and Molecular Physics
ECTS credit points	9
Subject content	<p>Concepts of light-matter interaction are introduced and described with semiclassical and quantum physics. Topics ranging from light propagation in solids to femtosecond processes in isolated molecules are covered.</p> <p>◆ <u>Optics - a Spectroscopy Perspective</u>: Basics of optics for research and industrial applications: light propagation in isotropic materials and birefringent crystals; polarisation optics; nonlinear optics; Fraunhofer and Fresnel diffraction, Fresnel zone plates; coherence and interference; Fourier optics</p> <p>◆ <u>Research Laboratory Quantum Optics and Molecular Physics</u>: Practical training in advanced experimental techniques with the opportunity to choose topics according to interests and lectures attended. Students also participate in one of the research experiments.</p> <p><u>Laser Physics</u>: Emission and absorption; Einstein coefficients; laser theory and rate equations; optical resonators and modes; laser types; laser safety</p> <p><u>Ultrafast Laser Physics</u>: Introduction to the state-of-the-art research field of femtosecond time-resolved molecular spectroscopy: generation and amplification of femtosecond laser pulses; pulse propagation in media, dispersion compensation; pulse characterisation; methods and examples of femtosecond time-resolved spectroscopy; strong field effects; applications</p> <p><u>Quantum Optics</u>: Correlated photons; theory of light-pressure force; laser cooling, trapped atomic ensembles; atom interferometry; quantum interference; atomic clocks, optical magnetometers (foundations and theory)</p> <p><u>Modelling of Molecular Systems</u>: Non-Born-Oppenheimer effects; rovibronic interactions; group theory; excited states; post-Hartree-Fock techniques; solvation, QM/MM embedding; reaction dynamics and transition state theory</p>
Learning outcomes	<p>After having participated successfully in the module, students are able to</p> <ul style="list-style-type: none"> • solve optics-related tasks in research and industry, equipped with a substantial fundamental and practical basis; • understand light-induced molecular processes, their investigation with (femtosecond) laser radiation, as well as their modelling; • design and construct optical setups for laser applications, and • carry out a master's thesis in a research laboratory in the field of modern optics or laser spectroscopy.
Teaching and learning activities and methods:	Lectures, laboratory course
Previous knowledge expected	Experimental physics, quantum mechanics, electrodynamics and mathematical concepts at bachelor's level
Frequency of offer:	Mandatory courses (◆) every year; others at least every two years

Specialisation module	Radiation and Plasma Physics
ECTS credit points	9
Subject content	<p>◆ <u>Applied Radiation Physics</u>: Introduction to ionising radiation sources, interaction of radiation with matter; human exposure to natural and man-made radiation sources, their biological effects, risks and tolerance limits; basics of dosimetry and activity measurements; applied radiation protection</p> <p>◆ <u>Research Laboratory Radiation and Plasma Physics</u>: Exercises on radiation detection, dosimetry and activity measurements, gamma-spectrometric identification of radionuclides and determination of radon concentration in air. Computer simulations on topics of plasma or fusion physics</p> <p><u>Plasma Physics</u>: Collective effects in plasmas and conducting fluids; drift motions of charged particles in electromagnetic fields; plasma models; linear response of electric media; plasma waves</p> <p><u>Fusion Physics</u>: Introduction to nuclear fusion; magnetic confinement; inertial confinement; fusion concepts (tokamak, stellarator, mirror, field-reversed configuration) and related experiments; fusion fuels; power balance in fusion plasmas; technological aspects; safety aspects; comparison to nuclear fission; nuclear fusion in the sun and in stars (creation of elements in the universe)</p> <p><u>Kinetic Theory in Plasma Physics</u>: Concepts of kinetic theory in plasma physics; comparison to single particle and fluid description; derivation of Liouville equation, Lenard-Balescu equation, Fokker-Planck equation and Vlasov equation; Coulomb collisions in plasmas; applications of kinetic theory</p>
Learning outcomes	<p>After having participated successfully in the module, students are able to</p> <ul style="list-style-type: none"> • understand the basic physical principles of ionising radiation, plasma and fusion processes. <p>After having completed the module, students have gained</p> <ul style="list-style-type: none"> • profound knowledge of ionising radiation and radiation protection; • an insight into the basic physics of ionised gases, and • practical skills and specialised competence in radiation and plasma physics.
Teaching and learning activities and methods: Lectures, laboratory course	
Previous knowledge expected	Basic courses in theoretical mechanics and electrodynamics
Frequency of offer: Mandatory courses (◆) every year; others at least every two years	

Specialisation module	Semiconductor Devices
ECTS credit points	9
Subject content	<p>◆ <u>Physics of Semiconductor Devices</u>: Introduction to the band structures of semiconductors; intrinsic and extrinsic semiconductors; drift and diffusion of electrons and holes; p-n junctions; Schottky diodes; Ohmic contacts; JFETs, MESFETs; MOSFETs; CMOS; memories; bipolar transistors; solar cells; light-emitting diodes; laser diodes</p> <p>◆ <u>Research Laboratory Semiconductor Devices</u>: Characterisation of transistors; noise measurements; voltage-capacitance; the Hall effect; charge pumping; EBIC; EDMR; fabrication of organic devices; e-beam lithography; ellipsometry and pyrometry; SEM; TEM; FIB; IR spectroscopy; simulation laboratory</p> <p><u>Microelectronics and Micromechanics</u>: Basic processes of Si-planar technology; oxidation; thin film deposition; lithography; etching; fabrication of semiconductor devices; micromechanics; LIGA; micro-optics; microfluidics; EBID</p> <p><u>Organic Semiconductors</u>: Molecular and crystalline structures; liquid crystals; self-assembly processes; charge transport in organic semiconductors; photophysical and non-linear optical properties; organic light-emitting devices; lighting applications and displays; organic thin-film transistors; modelling of organic devices; fabrication of organic devices</p> <p><u>Modelling and Simulation of Semiconductors</u>: Introduction to the electronic structure of semiconductors; scattering mechanisms for electrons; transport modelling techniques (drift diffusion, Monte Carlo, Boltzmann equation); organic and nanotube field-effect transistors</p>
Learning outcomes	<p>After having participated successfully in the module, students are able to</p> <ul style="list-style-type: none"> • describe the fabrication and operation of semiconductor devices; • understand how the choice of materials changes the properties of the devices, and • use modern experimental equipment and methods for the characterisation of semiconducting materials and devices.
Teaching and learning activities and methods: Lectures, laboratory course, independent project	
Previous knowledge expected	Knowledge of solid state physics, electrodynamics, computer programming, and experimental physics at bachelor's level
Frequency of offer: Mandatory courses (◆) every year; others at least every two years	

Specialisation module	Surface Science
ECTS credit points	9
Subject content	<p>◆ <u>Surface Science</u>: Geometric and electronic structure of surfaces (theory and methods); adsorption (thermodynamics, growth processes)</p> <p>◆ <u>Experimental Methods in Surface Science</u>: The focus is on understanding the principles of modern experimental surface science techniques and gaining direct hands-on experience with the techniques available at the surface science groups at Uni Graz and TU Graz. Introductory experiments (surface cleaning, structure and composition analysis, adsorption and desorption) are followed by a small research project on a specific instrument and topic.</p> <p><u>Molecular Interfaces</u>: Bonding; orbitals; band structure; interfaces; angle-resolved UPS; orbital tomography</p> <p><u>Scanning Probe Techniques</u>: Scanning tunnelling microscopy (theory, operation, measurement modes, spectroscopy, applications, spin-polarised STM, inelastic STM/STS, manipulation). Atomic force microscopy (theory, interaction forces, modes (static, dynamic), force-distance curves, Kelvin probe, magnetic force; spectromicroscopy: PEEM, LEEM, μ-XPS</p> <p><u>Synchrotron Radiation Techniques</u>: Synchrotron light generation (history, accelerators, etc.); synchrotron XPS (time-resolved, data analysis, line shapes, curve fitting, etc.); X-ray absorption spectroscopy (EXAFS, XANES)</p> <p><u>Thin Film Science and Processing</u>: Principles of thin film growth, thermodynamics and kinetics, adsorption, desorption, diffusion, techniques (PVD, CVD, LB, spin coating), nanostructure fabrication (etching, etc.)</p> <p><u>Surface Chemistry</u>: Chemical reactions on surfaces (heterogeneous catalysis; photocatalysis; electrochemistry)</p> <p><u>Vacuum Technology</u>: Gas kinetics, pumps, pressure measurements, vacuum chambers, safety</p>
Learning outcomes	<p>After having participated successfully in the module, students are able to</p> <ul style="list-style-type: none"> • understand the fundamental (geometric and electronic) properties of surfaces as a representation of a truncated crystalline bulk material; • understand the principles, operate and interpret the results obtained with state-of-the-art ultra-high vacuum-based surface science methods and standard surface analytical methods for industry, and • understand the principles and methods of adsorption on surfaces, self-assembly, thin film growth and nanostructuring. • The optional courses provide students with deeper knowledge of the systems and techniques of surface physics and surface chemistry.
Teaching and learning activities and methods:	Lectures, laboratory course
Previous knowledge expected	Knowledge of solid state physics
Frequency of offer:	Mandatory courses (◆) every year; others at least every two years

Specialisation module	Theoretical Solid-state Physics
ECTS credit points	9
Subject content	<p>◆ Quantum Theory of Many-Body Systems: Correlation functions and linear response, Fermionic and Bosonic single-particle Green's functions, Perturbation theory and Feynman diagrams, Simple approximations: Hartree-Fock, Random Phase Approximation, Screening</p> <p>Fundamentals of Electronic Structure Theory: Electronic band structure, free-electron bands and tight-binding approximation. Self-consistent field approximation; density functional theory; basis functions; full-potential and pseudopotential methods; advanced topics</p> <p>Theory of Magnetism and Collective Phenomena: Magnetic exchange mechanisms; models for magnetic materials; response functions and phase transitions; Brown theory of micromagnetism; magnetic domains</p> <p>Theory of Superconductivity: Phenomenology of superconductors; the Meissner effect; London equations. Microscopic theory: BCS theory at zero and finite temperatures; introduction to strong-coupling Migdal-Eliashberg theory</p> <p>Phase Transitions and Critical Phenomena: Lattice models and applications of statistical physics. Mean field, perturbation series, transfer matrix, renormalisation group, mapping between representations. Simulation techniques and examples, including cluster Monte Carlo and Kosterlitz-Thouless transition</p>
Learning outcomes	<p>After having participated successfully in the module, students have a clear overview of the fundamental methods and open problems of modern theoretical solid state physics.</p> <p>After having completed the module, students have acquired the basic skills to solve related problems at the level of a master's thesis.</p>
Teaching and learning activities and methods:	Lectures with multimedia material
Previous knowledge expected	Solid state physics, quantum mechanics and statistical physics at master's level
Frequency of offer:	Mandatory courses (◆) every year; others at least every two years

Specialisation module	Photon Science
ECTS credit points	9
Subject content	<p><u>Laser Spectroscopy</u>: Laser spectroscopy techniques for atomic and molecular gasses, liquids, and solids; overview on optical spectroscopic diagnostic instrumentation; high-frequency and time-resolved spectroscopy and related diagnostic methods including most recent developments in optical spectroscopy, ranging from the x-ray to the infrared spectral region</p> <p><u>Structured Light and Nanoscale Wave Phenomena</u>: Introduction to the fascinating structure of light – from tall to small; discussion of various types of structured electromagnetic fields, generation methods and inherent properties; evanescent and propagating fields, polarization, angular momenta of light fields, optics of dielectric and metallic nanostructures, light-matter interactions at the nanoscale; exotic phenomena and intriguing effects in nanostructured fields; modern applications in nano-metrology, sensing, imaging, spectroscopy, polarimetry, photonic nanocircuitry, etc.;</p> <p><u>Photonics: Light, Matter, and Time</u>: Ultrafast time-domain perspective on optical properties of atoms and solids, dynamics of energy exchange between electric field and matter; refractive index and transition rates from quantum mechanical principles, optical control of charge and spin</p> <p><u>Optical Waveguides, Photonic Circuitry and Applications</u>: Introduction to various kinds of optical waveguides (integrated, dielectric, plasmonic, photonic crystal waveguides and fibers); discussion of photonic integrated circuits, corresponding components, and fascinating applications as well as recent developments</p> <p><u>Optical Measurement Techniques</u>: Introduction to optical spectroscopy methods for physics, chemistry and biological sciences with focus on providing knowledge for estimating applicability ranges of various methods, and on basics of spectroscopy instruments.</p> <p><u>Research Laboratory Photon Science</u>: Practical training in advanced experimental optical techniques with a selection of intriguing topics related to photon sciences to be chosen in accordance with interests and lectures attended</p>
Learning outcomes	<p>This module is designed to provide</p> <ul style="list-style-type: none"> • a concise theoretical knowledge base in photon science and related areas of physics (Optics, Electrodynamics, Quantum Mechanics, Physics of Semiconductors) • understanding of fundamental laws of physics driving modern engineering areas including telecommunications, optoelectronics, photonics, nano and microfabrication • essential laboratory skills including experimental design, assembly of optical equipment, data acquisition and analysis • training to communicate scientific and engineering ideas both orally and in written form
Teaching and learning activities and methods: Lectures, lab course	



Previous knowledge expected	Fundamentals of electrodynamics and optics as well as corresponding mathematical concepts (Bachelor's level)
Frequency of offer: Every year	

Anhang II.

Studienablauf

1. Semester	SSt.	Typ	ECTS	Uni Graz ¹	TU Graz ¹
Statistical Physics	2	VO	4	X	X
Statistical Physics	1	UE	2	X	X
Advanced Quantum Mechanics	2	VO	4	X	X
Advanced Quantum Mechanics	1	UE	2	X	X
Advanced Solid State Physics	3	VO	6	X	X
Wahlmodule			9	X	X
Freifach			3	X	X
1. Semester Summe			30		
2. Semester					
Computer Simulations	3	VU	4		X
Advanced Atomic and Molecular Physics	2	VO	4		X
Radiation Physics	2	VO	4		X
Pflichtmodul Business and Entrepreneurship			4.5		X
Wahlmodule			9	X	X
Freifach			4.5	X	X
2. Semester Summe			30		
3. Semester					
Wahlmodule			24.5	X	X
Freifach			2.5	X	X
3. Semester Summe			27		
4. Semester					
Masterseminar	2	SE	2	X	X
Masterarbeit			30	X	X
Masterprüfung			1	X	X
4. Semester Summe			33		
Summe ECTS gesamt			120		

¹: Zuordnung der Lehrveranstaltung zu den beteiligten Universitäten. Beide Universitäten sind genannt, wenn die Lehrveranstaltung von beiden Universitäten gemeinsam, parallel oder im Wechsel angeboten werden.

Anhang III.

Empfohlene Lehrveranstaltungen für das Freifach

Frei zu wählende Lehrveranstaltungen können laut § 10 dieses Curriculums frei aus dem Lehrveranstaltungsangebot aller anerkannten in- und ausländischen Universitäten sowie aller inländischen Fachhochschulen und pädagogischen Hochschulen gewählt werden.

Im Sinne einer Verbreiterung der Wissensbasis im Bereich der Module dieses Studiums werden Lehrveranstaltungen aus den Gebieten Fremdsprachen, soziale Kompetenz, Technikfolgenabschätzung sowie Frauen- und Geschlechterforschung [insbesondere „Ein Doktoratsstudium an der Fakultät für Mathematik, Physik und Geodäsie- Informationsveranstaltung für Masterstudentinnen“] empfohlen. Insbesondere wird auf das Angebot der Serviceeinrichtung Sprachen, Schlüsselkompetenzen und Interne Weiterbildung der TU Graz bzw. Treffpunkt Sprachen der Universität Graz, des Zentrums für Soziale Kompetenz der Universität Graz, der Transferinitiative für Management- und Entrepreneurship-Grundlagen („TIMEGATE“) der Universität Graz sowie des Interuniversitären Forschungszentrums für Technik, Arbeit und Kultur hingewiesen.

Im Rahmen des Freifaches kann ein Privatissimum im Umfang von 2 ECTS-Anrechnungspunkten absolviert werden, das von der Masterarbeitsbetreuerin oder dem Masterarbeitsbetreuer mit Lehrbefugnis angeboten wird.

Anhang IV.

Äquivalenz- und Anerkennungsliste

Für Lehrveranstaltungen, deren Äquivalenz bzw. Anerkennung in diesem Teil des Anhangs zum Curriculum definiert ist, ist keine gesonderte Anerkennung durch das für studienrechtliche Angelegenheiten zuständige Organ mehr erforderlich. Auf die Möglichkeit einer individuellen Anerkennung nach § 78 UG per Bescheid durch das für studienrechtliche Angelegenheiten zuständige Organ wird hingewiesen.

Lehrveranstaltungen, die bezüglich Titel und Typ sowie Anzahl der ECTS-Anrechnungspunkte oder Semesterstundenanzahl übereinstimmen, sind äquivalent und werden deshalb nicht in den Anerkennungslisten angeführt.

Für Studierende des Masterstudiums Technische Physik gelten folgende Bestimmungen für die Anerkennung von Lehrveranstaltungen.

Alle Lehrveranstaltungen des vorliegenden Curriculums 2023 sind äquivalent zu den Lehrveranstaltungen des vorhergehenden Curriculums 2017. Für ältere Studienplanversionen gelten die Äquivalenz- und Anerkennungslisten gemäß Curriculum 2017.

Vorhergehendes Curriculum 2017				Kann ersetzt werden durch LV aus dem vorliegendem Curriculum 2023			
Lehrveranstaltung	LV-Typ	SSt.	ECTS	Lehrveranstaltung	LV-Typ	SSt.	ECTS
Pflichtmodul							
Advanced Solid State Physics <i>und</i> Advanced Solid State Physics	VO <i>und</i> UE	2 <i>und</i> 1	4 <i>und</i> 2	Advanced Solid State Physics	VO	3	6
Vertiefungsmodul I (Modelling of Materials)							
Advanced Ab-initio Techniques	VO	2	3	Advanced Electronic Structure Theory	VO	2	3
Vertiefungsmodul J (Nano- and Laser Optics)							
Advanced Optics	VO	2	3	Optics- a Photonics Perspective	VO	2	3
Vertiefungsmodul K (Nanoscience)							
Quantum Transport Theory	VO	2	3	Theoretical Nano- and Quantum Optics	VO	2	3
Vertiefungsmodul M (Quantum Optics and Molecular Physics)							
Fundamental Optics	VO	2	2	Optics- a Spectroscopy Perspective	VO	2	3



Anhang V.

Glossar

Glossar der verwendeten Bezeichnungen, welche in den Satzungen und Richtlinien der beiden Universitäten unterschiedlich benannt sind

Bezeichnung in diesem Curriculum (NAWI Graz)	Bezeichnung Uni Graz	Bezeichnung TU Graz
SSt.	KStd.	SSt.
Wahlmodul	Gebundenes Wahlfach	Wahlfach
Freifach	Freie Wahlfächer	Freifach