



neuaula.jpg

Fachbereich Mathematik

Modulhandbuch

Mathematical Physics

Master of Science

Sommersemester 2023

Stand: 20. Juni 2023

Inhaltsverzeichnis

1	Beschreibung des Studiengangs	4
1.1	Konzept des Studiengangs	4
1.2	Qualifikationsziele	4
1.3	Struktur des Studiengangs	5
1.4	Mentorinnen und Mentoren, Studien- und Prüfungspläne	5
1.5	Informationen für Studieninteressierte mit dem Abschluss Bachelor of Science Physik an der Universität Tübingen	6
2	Studienverlaufsplan	7
2.1	Übersicht nach Modulen	7
2.2	Übersicht nach Studienverlauf	9
2.3	Auswahl möglicher Studienverläufe	10
2.4	Übersicht nach Studienverlauf und Prüfungsanforderungen	14
3	Modulbeschreibungen	16
	Abschnitt 1: Grundlagen Mathematische Physik	16
	Abschnitt 2: Erweiterungswissen	22
	Abschnitt 3: Freier Wahlpflichtbereich	27
	Abschnitt 4: Wissenschaftliches Arbeiten	41

1 Beschreibung des Studiengangs

1.1 Konzept des Studiengangs

Der zweijährige wissenschaftlich-forschungsorientierte internationale Studiengang Master of Science Mathematical Physics wird gemeinsam von den Fachbereichen Mathematik und Physik angeboten und kann jährlich im Wintersemester begonnen werden. Er richtet sich an Studierende mit einem soliden Basiswissen sowohl im Bereich der Mathematik als auch im Bereich der Physik, und setzt einen Bachelorabschluss im Fach Mathematik oder Physik in einem Bachelorstudiengang mit einer Regelstudienzeit von sechs Semestern oder einen gleichwertigen Abschluss voraus. Die Disziplin Mathematische Physik beschäftigt sich mit der mathematisch rigorosen Formulierung und Analyse physikalischer Theorien und Modelle. In dem Master-Studium Mathematical Physics vertiefen die Absolventinnen und Absolventen daher ihre fachwissenschaftlichen Kenntnisse und Kompetenzen in der Mathematik und der Physik sowohl in interdisziplinären Veranstaltungen zur Mathematischen Physik als auch in disziplinären Veranstaltungen beider Fächer. Sie sind anschließend in besonderer Weise vorbereitet für Arbeitsfelder, bei denen typisch mathematische Kompetenzen im Zusammenwirken mit physikalischen Anwendungen gefragt sind.

Der Studiengang ist international sowohl von Seiten der Studierenden als auch von Seiten der Dozierenden und kann nicht ohne Englischkenntnisse studiert werden, da die Grundlagenmodule ausschließlich in englischer Sprache angeboten werden. Vorausgesetzt werden deshalb englische Sprachkenntnisse auf dem Niveau B2 nach dem Gemeinsamen Europäischen Referenzrahmen für Sprachen (GER), wie sie z. B. mit Englisch in der Schule bis zum Abitur erworben werden. Der Studiengang ist vollständig auf Englisch studierbar, wobei abhängig vom Lehrangebot je Semester unter Umständen Einschränkungen bei der Modulwahl gegeben sein können.

1.2 Qualifikationsziele

Die Absolventinnen und Absolventen beherrschen theoretische Erklärungsansätze, Prinzipien und Methoden sowohl der Mathematik als auch der Theoretischen Physik. Sie verknüpfen physikalische Fragestellungen und ihre mathematische Modellierung und sind in der Lage, die Relevanz und Adäquatheit der mathematischen Modellierung und der daraus abgeleiteten mathematischen Resultate einzuordnen und zu hinterfragen. Sie können den aktuellen Forschungsstand im Bereich ihrer Spezialisierung wiedergeben und kritisch hinterfragen. Ihr vertieftes Wissen können die Absolventinnen und Absolventen für die Entwicklung und Lösung eigener Forschungsideen einsetzen. Sie können die Resultate ihrer Forschungsarbeiten vor einem wissenschaftlichen Publikum sowohl schriftlich als auch mündlich präsentieren, erläutern und vertiefend diskutieren. Im Rahmen der Seminare und des Moduls Mathematical Physics Colloquium üben die Studierenden zusätzlich zu den fachlichen Inhalten die Zusammenarbeit und den wissenschaftlichen Diskurs in interdisziplinär und international gemischten Gruppen.

Durch ihre Ausbildung in der Mathematischen Physik haben die Absolventinnen und Absolventen die Voraussetzungen dafür erworben, mathematische Modellierungsaufgaben sowohl in der Physik als auch in anderen Bereichen - wie beispielsweise der Technik oder den Wirtschaftswissenschaften - nach Einarbeitung in die spezielle Thematik professionell und erfolgreich zu bearbeiten. Sie sind überdies bestens auf die interdisziplinäre und internationale Zusammenarbeit in fachlich und kulturell gemischten Teams vorbereitet, wie sie heutzutage in allen Bereichen der Forschung und Entwicklung verbreitet sind.

1.3 Struktur des Studiengangs

Die Studierenden vertiefen sich im Studiengang M.Sc. Mathematical Physics in einem mathematischen Gebiet, das sich mit Fragen der Grundlagenforschung an der Schnittstelle zwischen Mathematik und Physik beschäftigt. Die Studierenden erbringen mindestens Leistungen im Umfang von 63 Leistungspunkten in diesem Studienschwerpunkt. Das schließt das Modul Scientific Project und die Masterarbeit ein. Die Studierenden werden zunächst durch vertiefende Vorlesungen und dann durch angeleitetes Selbststudium bis an die aktuelle Forschung herangeführt. In der Masterarbeit ist eine wissenschaftliche Fragestellung in Abstimmung mit dem Betreuer zu formulieren und weitgehend selbständig zu bearbeiten. Dies schließt die eigenständige Suche nach geeigneter Literatur, deren Auswertung, die Formulierung geeigneter methodischer Ansätze sowie die Darstellung der Projektergebnisse ein. Die Studierenden stellen in dieser Endphase des Studiums die Ergebnisse ihrer Masterarbeit im Mathematical Physics Colloquium vor und erhalten durch die Teilnahme an Vorträgen internationaler Gäste und lokaler Experten weitere Einblicke in aktuelle Forschungsthemen der Mathematischen Physik. Die Studierenden können sich in ihrem Studium sehr frei in der Mathematischen Physik, der Mathematik oder der Theoretischen Physik durch die freie Wahl entsprechender Kurse vertiefen. Neben den Pflichtmodulen des Abschnitts Grundlagen der Mathematischen Physik ist die einzige Einschränkung, dass im Abschnitt Erweiterungswissen mindestens je neun Leistungspunkte aus der Mathematik und aus der Theoretischen Physik, die nicht zur Mathematischen Physik gehören, eingebracht werden müssen, um die notwendige Breite des Studiums sicherzustellen. Die Studierenden haben dadurch zudem Studien auf dem Masterniveau in den Bereichen Mathematik und Theoretischen Physik nachgewiesen.

Die Regelstudienzeit für den Abschluss Master of Science Mathematical Physics beträgt vier Semester (120 Leistungspunkte). Dieses Studium wird mit der Masterarbeit (M.Sc. Thesis, 30 Leistungspunkte) abgeschlossen.

1.4 Mentorinnen und Mentoren, Studien- und Prüfungspläne

Jeder und jedem Studierenden wird mit Aufnahme des Studiengangs eine Mentorin oder ein Mentor aus der Gruppe der am Studiengang beteiligten Dozentinnen und Dozenten zur Seite gestellt. Mit dieser Mentorin oder diesem Mentor trifft sich die oder der Studierende zu Beginn des Studiums, um einen persönlichen Studien- und Prüfungsplan zu erstellen, der alle im Studium geplanten Module enthält. Der Studien- und Prüfungsplan ist der oder dem Vorsitzenden des Prüfungsausschusses zur Prüfung vorzulegen. In den Folgesemestern trifft sich die oder der Studierende jeweils mindestens einmal mit seiner Mentorin oder seinem Mentor, um den Studien- und Prüfungsplan anzupassen. Die angepassten Studien- und Prüfungspläne sind wieder zur Genehmigung vorzulegen. Durch dieses

verpflichtende Mentoringprogramm wird sichergestellt, dass sich die Studierenden zielgerichtet spezialisieren und dahingehend sinnvolle Kombinationen aus Mathematik- und Physikveranstaltungen wählen.

Bei der Erstellung oder Anpassung des Studien- und Prüfungsplans kann auch ein sinnvolles Zeitfenster für einen Studienanteil an einer ausländischen Hochschule eingeplant werden. Grundsätzlich eignet sich hierfür jedes Fachsemester. Die Entscheidung wird im Einzelnen von den bereits erbrachten Leistungen der oder des Studierenden und dem Angebot an der gewählten ausländischen Hochschule abhängen. Auch die Erstellung der Masterarbeit während des Auslandsaufenthaltes und unter Kobetreuung durch eine dortige Lehrende oder einen dortigen Lehrenden ist möglich.

1.5 Informationen für Studieninteressierte mit dem Abschluss Bachelor of Science Physik an der Universität Tübingen

Studierende des 4-jährigen Studiengangs Bachelor of Science Physik an der Universität Tübingen haben die Möglichkeit, schon während des Bachelorstudiums bis zu 60 Leistungspunkte zu erwerben, die für den Master of Science Mathematical Physics anerkannt werden können, wenn die im Bachelorstudium bestehende Wahlfreiheit geeignet genutzt wird.

Insbesondere können

- das Basismodul BMTPKFT Klassische Feldtheorie aus dem Bachelor of Science Physik mit 9 Leistungspunkten als Modul MAT-40-32 Advanced Topics in Theoretical Physics im Master of Science Mathematical Physics und
- 21 Leistungspunkte aus dem Vertiefungsfach im Bachelor of Science Physik bei passender Auswahl im Abschnitt Freier Wahlpflichtbereich im Master of Science Mathematical Physics anerkannt werden.

Weiterhin können

- bis zu 27 Leistungspunkte aus dem Abschnitt Ergänzungsmodule im Bachelor of Science Physik durch die Module MAT-65-11 Geometry in Physics, MAT-65-12 Mathematical Quantum Theory, MAT-65-13 Mathematical Relativity oder MAT-65-14 Mathematical Statistical Physics erbracht werden und
- die Bachelorarbeit kann als Scientific Project mit 9 Leistungspunkten angerechnet werden.

Um den Studiengang Master of Science Mathematical Physics im Anschluss an den 4-jährigen Studiengang Bachelor of Science Physik an der Universität Tübingen innerhalb eines Jahres abschließen zu können, wird daher empfohlen, bei der Wahl der Veranstaltungen im Vertiefungsfach darauf zu achten, dass es sich um fortgeschrittene Veranstaltungen der Theoretischen Physik handelt, die im Studiengang Master of Science Mathematical Physics dann im Abschnitt Freier Wahlpflichtbereich anerkannt werden können. Weiterhin wird empfohlen, im Abschnitt Ergänzungsmodule des Bachelorstudiums mindestens zwei der Module MAT-65-11, MAT-65-12, MAT-65-13 oder MAT-65-14 des Studiengangs Master of Science Mathematical Physics zu belegen. Sinnvoll wären hier die Kombinationen MAT-65-11 + MAT-65-13 und MAT-65-12 + MAT-65-14. Möglich wären auch MAT-65-11 und MAT-65-12.

2 Studienverlaufsplan

2.1 Übersicht nach Modulen

Wir geben hier eine Übersicht über den Studienverlauf in Form einer Tabelle, die die im Studiengang zu belegenden Module aufzeigt.

Empfohlenes Fachsemester	Modulnummer	Modultitel	Art der Veranstaltungen	Art des Moduls	Studienleistung	Prüfungsform	ECTS-Punkte
Abschnitt 1: Grundlagen Mathematische Physik							
1	MAT-65-11	Geometry in Physics	V+Ü	PM	ÜN	K o. mP	9
1	MAT-65-12	Mathematical Quantum Theory	V+Ü	PM	ÜN	K o. mP	9
2	MAT-65-13	Mathematical Relativity	V+Ü	PM	ÜN	K o. mP	9
Abschnitt 2: Erweiterungswissen							
1–3	MAT-40-31	Advanced Topics in Mathematics	V+Ü	PMW	ÜN	K o. mP	9
1–3	MAT-40-32	Advanced Topics in Theoretical Physics	V+Ü	PMW	ÜN	K o. mP	9
2–3	MAT-40-33	Seminar Knowledge Extension	S	PMW	s.M.	R	3
Abschnitt 3: Freier Wahlpflichtbereich							
2-3	MAT-65-14	Mathematical Statistical Physics	V+Ü	WPM	ÜN	K o. mP	9
2-3	MAT-65-15	Foundations of Quantum Mechanics	V+Ü	WPM	ÜN	K o. mP	9
2-3	MAT-65-21	Advanced Topics in Mathematical Quantum Theory	V+Ü	WPM	ÜN	K o. mP	9
2	MAT-65-22	Advanced Topics in Mathematical Quantum Theory (kurze Version)	V+Ü	WPM	ÜN	K o. mP	6
3	MAT-65-23	Advanced Topics in Mathematical Relativity	V+Ü	WPM	ÜN	K o. mP	9
3	MAT-65-24	Advanced Topics in Mathematical Relativity (kurze Version)	V+Ü	WPM	ÜN	K o. mP	6
2-3	MAT-65-35	Quantum Shannon Theory and Beyond	V+Ü	WPM	ÜN	K o. mP	9
Abschnitt 4: Wissenschaftliches Arbeiten							
3	MAT-40-41	Scientific Project	P	PM	s.M.	-	9
3–4	MAT-40-42	Mathematical Physics Colloquium	C+C	PM	-	-	3
4	MAT-40-43	Abschlussmodul M.Sc. Mathematische Physik	MA	PM	s.M.	MA	30

Erläuterung der Abkürzungen:

Art des Moduls : PM=Pflichtmodul, PMW=Pflichtmodul mit Wahlmöglichkeit, WPM=Wahlpflichtmodul
Prüfungsform : MA=Masterarbeit, mP=mündliche Einzelprüfung, K=Klausur, R=Referat, H=Hausarbeit
Lehrform : V=Vorlesung, VÜ=Vorlesung mit integrierten Übungen, Ü=Übungen, P=Projekt, S=Seminar,
C=Kolloquium, Seminar oder Vorlesung
Studienleistung : ÜN=Übungsnachweis
Sonstiges : o.=oder, s.M.=siehe Modulbeschreibung

Im "Freien Wahlpflichtbereich" können die aufgeführten Module des Studiengangs Mathematische Physik belegt werden. Alternativ können dort weiterführende Module aus den Studiengängen Master of Science Mathematik, Physik oder Astro and Particle Physics eingebracht werden, siehe auch Modulbeschreibungen [3](#).

2.2 Übersicht nach Studienverlauf

Wir geben zunächst einen allgemeinen Studienverlaufsplan, der die zeitliche Verteilung der Leistungspunkte nach Studienbereichen aufzeigt. Auf den folgenden Seiten finden sich dann beispielhafte Studienverlaufspläne für unterschiedliche Vertiefungen, bei denen für die Module MAT-40-31 und MAT-40-32 beispielhaft Kurse aus dem Wahlpflichtbereich gewählt wurden.

Semester	LP	Grundlagen Mathematische Physik	Erweiterungs- wissen	Freier Wahlpflichtbereich	Wissenschaftliches Arbeiten
1.	27	27 LP	21 LP		
2.	30			30 LP	
3.	31				42 LP
4.	32				

Abbildung 2.1: Allgemeiner Studienverlaufsplan

2.3 Auswahl möglicher Studienverläufe

Die im folgenden aufgeführten beispielhaften Studienverlaufspläne sollen einen Eindruck davon geben, wie das Studium bei entsprechender Wahl in den verschiedenen Vertiefungsrichtungen der Mathematischen Physik gestaltet werden könnte. Sie sind nicht als Empfehlungen zu verstehen. Auch werden nicht alle angegebenen Lehrveranstaltungen jährlich angeboten und nicht bei jeder der angegebenen Lehrveranstaltungen ist gewährleistet, dass sie in Englisch angeboten wird.

Beispielhafter Studienverlaufsplan ohne Vertiefung

Semester	LP	Grundlagen Mathematische Physik	Erweiterungswissen	Freier Wahlpflichtbereich	Wissenschaftliches Arbeiten	
1.	27	Geometry in Physics (9 LP)	Lineare Partielle Differentialgleichungen (9 LP)			
		Mathematical Quantum Theory (9 LP)				
2.	30	Mathematical Relativity (9 LP)	Seminar(3 LP)	Advanced Topics in Mathematical Quantum Theory (9 LP)		
				Mathematical Statistical Physics (9 LP)		
3.	31		Quantenfeld-Theorie und Teilchen-Physik (9LP)	Advanced Topics in Mathematical Relativity (6 LP)	Mathematical Physics Colloquium (3 LP)	Scientific Project (9 LP)
				Advanced Topics in Mathematical Statistical Physics (6 LP)		
4.	32					Master Thesis (30 LP)

Abbildung 2.2: Der Studiengang Mathematical Physics kann großenteils ohne Wahl einer spezifischen Vertiefung studiert werden. In diesem Fall empfehlen wir alle vier Grundlagenelemente und Fortgeschrittenen-Module aus dem Angebot zu belegen. Die Module des Studienbereichs Erweiterungswissen sollten dann passend zur geplanten Vertiefung im wissenschaftlichen Projekt und in der Masterarbeit gewählt werden (siehe z. B. die folgenden Studienverlaufspläne).

Beispielhafter Studienverlaufsplan mit Vertiefung Quantum Theory

Semester	LP	Grundlagen Mathematische Physik	Erweiterungswissen	Freier Wahlpflichtbereich	Wissenschaftliches Arbeiten	
1.	27	Geometry in Physics (9 LP)	Operatorentheorie (9 LP)			
		Mathematical Quantum Theory (9 LP)				
2.	30	Mathematical Relativity (9 LP)	Quantenfeldtheorie und Teilchenphysik (9 LP)	Funktionalanalysis (9 LP)		
			Seminar(3 LP)			
3.	31			Advanced Topics in Mathematical Quantum Theory (9 LP)	Mathematical Physics Colloquium (3 LP)	Scientific Project (9 LP)
				Numerische Methoden in Physik und Astrophysik (6 LP)		
				Theorie der kondensierten Materie (6 LP)		
4.	32					Master Thesis (30 LP)

Abbildung 2.3: Die mathematischen Grundlagen der Quantentheorie gehören in wesentlichen Teilen zum Bereich der Analysis. Wir empfehlen deshalb bei der Wahl der Vertiefung in einem der Bereiche Mathematische Quantentheorie, Quantenfeldtheorie, Theoretische Festkörperphysik, Quanten-Vielteilchen-Systeme oder Theorie der Quanteninformati- on im Studienbereich Erweiterungswissen Kurse aus dem Bereich der Analysis zu belegen, z. B. Operatortheorie, Partielle Differentialgleichungen, Variationsrechnung oder Numerische Analysis.

Beispielhafter Studienverlaufsplan mit Vertiefung Relativity

Semester	LP	Grundlagen Mathematische Physik	Erweiterungswissen	Freier Wahlpflichtbereich	Wissenschaftliches Arbeiten	
1.	27	Geometry in Physics (9 LP)	Astronomie und Astrophysik (9 LP)			
		Mathematical Quantum Theory (9 LP)				
2.	30	Mathematical Relativity (9 LP)	Einführung in Partielle Differentialgleichungen (9 LP)	Riemannsche Geometrie (9 LP)		
			Seminar(3 LP)			
3.	31			Advanced Topics in Mathematical Relativity (9 LP)		Scientific Project (9 LP)
				Theoretische Astrophysik (6 LP)		
				Numerische Methoden in Physik und Astrophysik (6 LP)	Mathematical Physics Colloquium (3 LP)	
4.	32					Master Thesis (30 LP)

Abbildung 2.4: Die mathematischen Grundlagen der Relativitätstheorie gehören in wesentlichen Teilen den Bereichen Geometrie und Analysis an. Wir empfehlen deshalb bei der Wahl der Vertiefung in einem der Bereiche Mathematische Relativitätstheorie, Astronomie, Kosmologie oder Astrophysik Kurse aus dem Bereich der Geometrie, z. B. Riemannsche Geometrie und Lorentzsche Geometrie, oder aus dem Bereich der Analysis, z. B. Partielle Differentialgleichungen, Variationsrechnung oder Numerische Analysis, zu belegen.

Beispielhafter Studienverlaufsplan mit Vertiefung Statistical Physics

Semester	LP	Grundlagen Mathematische Physik	Erweiterungswissen	Freier Wahlpflichtbereich	Wissenschaftliches Arbeiten	
1.	27	Geometry in Physics (9 LP)	Wahrscheinlichkeitstheorie (9 LP)			
		Mathematical Quantum Theory (9 LP)				
2.	30	Mathematical Relativity (9 LP)	Fortgeschrittene Statistische Physik (9 LP)	Mathematical Statistical Physics (9 LP)		
				Dichtefunktionaltheorie für klassische und Quantensysteme (6 LP)		
3.	31		Seminar (3LP)	Advanced Topics in Mathematical Statistical Physics (6 LP)		Scientific Project (9 LP)
				Mathematische Statistik (9 LP)	Mathematical Physics Colloquium (3 LP)	
4.	32					Master Thesis (30 LP)

Abbildung 2.5: Die mathematischen Grundlagen der Statistischen Physik gehören in großen Teilen dem Bereich der Stochastik an. Wir empfehlen deshalb bei der Wahl der Vertiefung im Bereich Mathematische Statistische Physik, Soft Matter oder Dichtefunktionaltheorie Kurse im Bereich Stochastik zu belegen, z. B. Wahrscheinlichkeitstheorie oder Mathematische Statistik.

2.4 Übersicht nach Studienverlauf und Prüfungsanforderungen

Übersicht nach Studienverlauf und Prüfungsanforderungen														
		Prüfungsleistung				Lehrform					Semester			
		Prüfungsform	Prüfungsdauer (min)	Benotungssystem	Gewichtung bei der Abschlussnote	Art der Lehrform	Status	SWS	Summe der ECTS-Punkte (LP)	Die Zuordnung der Prüfungen / ECTS-Punkte zu Semestern hat empfehlenden Charakter. Die Zuordnung von ECTS-Punkten zu Veranstaltungen haben informativen Charakter. Die Gutschrift von Leistungspunkten erfolgt erst nach Abschluss des Moduls.				
										1. LP	2. LP	3. LP	4. LP	
Studienbereich Grundlagen Mathematische Physik									27					
MAT-65-11 Geometry in Physics								6	9					
1.	Vorlesung	K o. mP	90–120 o. 20–30	b	9	V	o	4		6				
2.	Übung					Ü	o	2		3				
MAT-65-12 Mathematical Quantum Theory								6	9					
1.	Vorlesung	K o. mP	90–120 o. 20–30	b	9	V	o	4		6				
2.	Übung					Ü	o	2		3				
MAT-65-13 Mathematical Relativity								6	9					
1.	Vorlesung	K o. mP	90–120 o. 20–30	b	9	V	o	4			6			
2.	Übung					Ü	o	2		3				
Studienbereich Erweiterungswissen									21					
MAT-40-31 Advanced Topics in Mathematics								6	9					
1.	Vorlesung	K o. mP	90–120 o. 20–30	b	9	V	o	4		6				
2.	Übung					Ü	o	2		3				
MAT-40-32 Advanced Topics in Physics								6	9					
1.	Vorlesung	K o. mP	90–120 o. 20–30	b	9	V	o	4			6			
2.	Übung					Ü	o	2		3				
MAT-40-33 Seminar								2	3					
1.	Seminar	R	45–90	b	3	S	o	2				3		
Studienbereich Freier Wahlpflichtbereich									30					
Hier können die Module MAT-65-15 und MAT-65-21 bis MAT-65-26 genauso gewählt werden wie andere geeignete Module aus den Studiengängen Master of Science Mathematik, Physik oder Astro- und Teilchenphysik. Die Wahl muss in Absprache mit dem Mentor getroffen werden. Module aus anderen Studiengängen können vom Prüfungsausschuss genehmigt werden.														
MAT-65-14 Mathematical Statistical Physics								6	9					
1.	Vorlesung	K o. mP	90–120 o. 20–30	b	9	V	f	4			6			
2.	Übung					Ü	f	2		3				
MAT-65-21 Advanced Topics in Mathematical Quantum Theory								6	9					
1.	Vorlesung	K o. mP	90–120 o. 20–30	b	9	V	f	4				6		

Übersicht nach Studienverlauf und Prüfungsanforderungen													
		Prüfungsleistung				Lehrform			Semester				
		Prüfungsform	Prüfungsdauer (min)	Benotungssystem	Gewichtung bei der Abschlussnote	Art der Lehrform	Status	SWS	Summe der ECTS-Punkte (LP)	Die Zuordnung der Prüfungen / ECTS-Punkte zu Semestern hat empfehlenden Charakter. Die Zuordnung von ECTS-Punkten zu Veranstaltungen haben informativen Charakter. Die Gutschrift von Leistungspunkten erfolgt erst nach Abschluss des Moduls.			
										1. LP	2. LP	3. LP	4. LP
2.	Übung					Ü	f	2				3	
MAT-65-22 Advanced Topics in Mathematical Quantum Theory (kurze Version)								4	6				
1.	Vorlesung	K o. mP	90-120 o. 20-30	b	6	V	f	2				3	
2.	Übung					Ü	f	2			3		
MAT-65-23 Advanced Topics in Mathematical Relativity								6	9				
1.	Vorlesung	K o. mP	90-120 o. 20-30	b	9	V	f	4				6	
2.	Übung					Ü	f	2			3		
MAT-65-24 Advanced Topics in Mathematical Relativity (kurze Version)								4	6				
1.	Vorlesung	K o. mP	90-120 o. 20-30	b	6	V	f	2				3	
2.	Übung					Ü	f	2			3		
Studienbereich Wissenschaftliches Arbeiten									42				
MAT-40-41 Scientific Project									9				
1.	Projekt	Proj.		nb	9		o					9	
MAT-40-42 Mathematical Physics Colloquium									3				
1.	Kolloquium			nb			o					1	2
MAT-40-43 Master Thesis									30				
1.	Masterarbeit	MA		b	30		o						30
<p>Erläuterung der Abkürzungen: Bewertungssystem : b=benotet, nb=nicht benotet Prüfungsform : MA=Masterarbeit, mP=mündliche Einzelprüfung, K=Klausur, R=Referat, H=Hausarbeit Lehrform : V=Vorlesung, Proj.=Projektarbeit, Koll.=Kolloquium, Ü=Übungen, S=Seminar Status : o=obligatorisch, f=fakultativ Sonstiges : o.=oder, SWS=Semesterwochenstunden, LP=Leistungspunkte=ECTS-Punkte</p>													

3 Modulbeschreibungen

Abschnitt 1: Grundlagen Mathematische Physik

Sofern die Pflichtmodule dieses Abschnitts oder Module, die mit diesen inhaltlich und von den zu erwerbenden Kompetenzen her im Wesentlichen übereinstimmen, im Bachelorstudiengang eingebracht wurden, der Zulassungsvoraussetzung für die Zulassung zum Studiengang Master of Science Mathematical Physics war, können diese gemäß dem Besonderen Teil der Studien- und Prüfungsordnung nicht mehr im Masterstudiengang eingebracht werden. Sie sind im Rahmen des Studien- und Prüfungsplans durch andere Leistungen zu ersetzen.

Modulnummer: MAT-65-11	Modultitel: Geometry in Physics		Art des Moduls: Pflichtmodul
ECTS-Punkte	9		
Arbeitsaufwand - Kontaktzeit - Selbststudium	Arbeitsaufwand: 270 h	Kontaktzeit: 90 h	Selbststudium: 180 h
Moduldauer	1 Semester		
Häufigkeit des Angebots	regelmäßig im Wintersemester		
Fachsemester	1		
Unterrichtssprache	Englisch		
Lehr- / Lernformen	Vorlesung 4 SWS + Übungen 2 SWS, Hausaufgaben		
Modulinhalt	Das Modul beinhaltet eine Einführung in grundlegende Methoden der Differentialgeometrie und ihre Bedeutung in der Physik. Themen sind insbesondere Mannigfaltigkeiten, Differentialformen, Riemannsche Metriken und zugehörige Krümmungsbegriffe, Riemannsche Geometrie von Untermannigfaltigkeiten, reelle Vektorbündel und Zusammenhänge. Es werden beispielhaft Anwendungen in der Physik genannt.		
Qualifikationsziele	Die Studierenden kennen und verstehen die genannten Begriffe der Differentialgeometrie und die grundlegenden Techniken im Umgang mit ihnen. Sie sind zu einem vertieften Verständnis insbesondere der Differential- und Integralrechnung gelangt und haben beispielhaft erfahren, wie die mathematischen Konzepte in natürlicher Weise in physikalischen Theorien Anwendung finden. Sie sind in der Lage, die wesentlichen Aussagen der Vorlesung zu benennen und zu beweisen sowie die dargestellten Zusammenhänge einzuordnen und zu erläutern. In den Übungen haben sie sich einen sicheren, präzisen und selbständigen Umgang mit den Begriffen, Aussagen und Methoden aus der Vorlesung erarbeitet. Sie haben dabei gelernt, die Methoden auf neue Probleme zu übertragen, diese zu analysieren und Lösungsstrategien alleine oder im Team zu entwickeln. Sie sind in der Lage, ihre Lösungen zu präsentieren und ggf. im kritischen Diskurs zu vertreten.		

Voraussetzung für die Vergabe von Leistungspunkten / Benotung (ggf. Gewichtung)	Titel	Art der Lehrform	Status	SWS	ECTS	Studienleistung	Prüfungsform	Prüfungsdauer (min)	Benotungssystem	Anteil an der Modulnote
	Geometry in Physics	V	o	4	6	ja	K o. mP	90-180 o. 20-30	b	100
		Ü	o	2	3					
Die Prüfungsform wird vom Dozenten bzw. der Dozentin festgelegt.										
Literatur	<p>Exemplarische Literatur:</p> <ul style="list-style-type: none"> • John Lee: Introduction to smooth manifolds. Springer 2012. • John Lee: Riemannian manifolds: An introduction. Springer 1997. • Chris Isham: Modern differential geometry for physicists. World Scientific 1999. • Mikio Nakahara: Geometry, Topology and Physics. IOP Publishing 2003. 									
Verwendbarkeit	Der Teilnahme am Modul ist Voraussetzung für die Teilnahme am Modul Mathematical Relativity, am Modul Seminar Knowledge Extension und am Modul Scientific Project.									
Teilnahmevoraussetzungen	-									
Modulverantwortliche	Christoph Bohle, Carla Cederbaum, Stefan Teufel									
Erläuterung der Abkürzungen:										
Bewertungssystem : b=benotet, nb=nicht benotet										
Prüfungsform : MA=Masterarbeit, mP=mündliche Einzelprüfung, K=Klausur, R=Referat, H=Hausarbeit										
Lehrform : V=Vorlesung, VÜ=Vorlesung mit integrierten Übungen, Ü=Übungen, P=Projekt, S=Seminar, C=Kooloqium, SV=Seminar oder Vorlesung										
Status : o=obligatorisch, f=fakultativ										
Sonstiges : h=Stunden, o.=oder, s.M.=siehe Modulbeschreibung, SWS=Semesterwochenstunden										

Modulnummer: MAT-65-12	Modultitel: Mathematical Quantum Theory		Art des Moduls: Pflichtmodul							
ECTS-Punkte	9									
Arbeitsaufwand - Kontaktzeit - Selbststudium	Arbeitsaufwand: 270 h			Kontaktzeit: 90 h			Selbststudium: 180 h			
Moduldauer	1 Semester									
Häufigkeit des Angebots	regelmäßig im Wintersemester									
Fachsemester	1									
Unterrichtssprache	Englisch									
Lehr- / Lernformen	Vorlesung 4 SWS + Übungen 2 SWS, Hausaufgaben									
Modulinhalt	Dieses Modul bietet eine Einführung in mathematische Methoden, die zur Formulierung und Analyse von Quantentheorien eine wesentliche Rolle spielen. Themen sind insbesondere die Fourier-Transformation, Distributionen, Hilbert-Räume, unitäre Gruppen und ihre Erzeuger, Spektraltheorie selbst-adjungierter Operatoren, Spektralsatz, Tensor-Produkte, POVMs, Spektralmaße sowie Spurklasseoperatoren. Es können zusätzlich Grundideen aus einem weiterführenden Bereich behandelt werden, beispielsweise aus der Streutheorie, der Stabilität der Materie, der semi-klassischen Analysis oder der Hartree-Fock-Theorie. Die genannten mathematischen Methoden und Gebiete werden in der Vorlesung aus der Quantentheorie heraus motiviert und an Beispielen aus der Quantentheorie angewendet.									
Qualifikationsziele	Studierende kennen und verstehen die genannten Begriffe und Methoden und können mit ihrer Hilfe bekannte und neue Fragestellungen aus der Quantentheorie analysieren. Sie sind in der Lage, die Aussagen und Beweise der Vorlesung nachzuvollziehen und zu erklären. Weiterhin verknüpfen sie physikalische Fragestellungen und ihre mathematische Modellierung und sind in der Lage, die Relevanz und Adäquatheit der mathematischen Modellierung und der aus ihr abgeleiteten mathematischen Resultate zu hinterfragen. In den Übungen haben sie sich einen sicheren, präzisen und selbständigen Umgang mit den Begriffen, Aussagen und Methoden aus der Vorlesung erarbeitet. Sie haben dabei gelernt, die Methoden auf neue Probleme zu übertragen, diese zu analysieren und Lösungsstrategien alleine oder im Team zu entwickeln. Sie sind in der Lage, ihre Lösungen zu präsentieren und ggf. im kritischen Diskurs zu vertreten.									
Voraussetzung für die Vergabe von Leistungspunkten / Benotung (ggf. Gewichtung)		Art der Lehrform	Status	SWS	ECTS	Studienleistung	Prüfungsform	Prüfungsdauer (min)	Benotungssystem	Anteil an der Modulnote
	Titel									
	Mathematical Quantum Theory	V Ü	o o	4 2	6 3	ja	K o. mP	90-180 o. 20-30	b	100
	Die Prüfungsform wird vom Dozenten bzw. der Dozentin festgelegt.									
Verwendbarkeit	Der erfolgreiche Abschluss eines der Module Mathematical Quantum Theory oder Mathematical Relativity ist Voraussetzung für die Teilnahme an Modul Scientific Project. Der erfolgreiche Abschluss von Modul Mathematical Quantum Theory ist Voraussetzung für die Teilnahme am Modul Advanced Topics in Mathematical Quantum Theory.									
Teilnahmevoraussetzungen	-									
Modulverantwortliche	Stefan Teufel									

Erläuterung der Abkürzungen:

Bewertungssystem : b=benotet, nb=nicht benotet

Prüfungsform : MA=Masterarbeit, mP=mündliche Einzelprüfung, K=Klausur, R=Referat, H=Hausarbeit

Lehrform : V=Vorlesung, VÜ=Vorlesung mit integrierten Übungen, Ü=Übungen, P=Projekt, S=Seminar,
C=Kolloquium, SV=Seminar oder Vorlesung

Status : o=obligatorisch, f=fakultativ

Sonstiges : h=Stunden, o.=oder, s.M.=siehe Modulbeschreibung, SWS=Semesterwochenstunden

Modulnummer: MAT-65-13	Modultitel: Mathematical Relativity				Art des Moduls: Pflichtmodul					
ECTS-Punkte	9									
Arbeitsaufwand - Kontaktzeit - Selbststudium	Arbeitsaufwand: 270 h		Kontaktzeit: 90 h		Selbststudium: 180 h					
Moduldauer	1 Semester									
Häufigkeit des Angebots	regelmäßig im Sommersemester									
Fachsemester	2									
Unterrichtssprache	Englisch									
Lehr- / Lernformen	Vorlesung 4 SWS + Übungen 2 SWS, Hausaufgaben									
Modulinhalt	Dieses Modul bietet eine Einführung in die Mathematische Relativitätstheorie. Themen sind insbesondere Newtons Gravitationstheorie, spezielle Relativitätstheorie, relativistische Effekte, Einstein-Gleichung, Schwarzschild-Modell. Optional können zusätzlich weitere Themen behandelt werden, beispielsweise kosmologische Modelle, Materie-Modelle, schwarze Löcher, Cauchy-Problem und ADM-Zerlegung, Singularitätentheoreme oder Gravitationswellen.									
Qualifikationsziele	Die Studierenden kennen und verstehen die genannten Begriffe und Methoden und können mit ihrer Hilfe bekannte und neue Fragestellungen aus der Relativitätstheorie analysieren. Weiterhin verknüpfen sie physikalische Fragestellungen der Kosmologie und Astrophysik und ihre mathematische Modellierung durch differentialgeometrische Methoden und sind in der Lage, die Relevanz und Adäquatheit der mathematischen Modellierung und der aus ihr abgeleiteten mathematischen Resultate zu hinterfragen. Dabei bauen Sie insbesondere die im Modul MAT-65-11 erlernten Methoden aus und vernetzen Ihr Methoden- und Fachwissen. Sie sind in der Lage, die wesentlichen Aussagen der Vorlesung zu benennen und zu beweisen sowie die dargestellten Zusammenhänge einzuordnen und zu erläutern. In den Übungen haben sie sich einen sicheren, präzisen und selbständigen Umgang mit den Begriffen, Aussagen und Methoden aus der Vorlesung erarbeitet. Sie haben dabei gelernt, die Methoden auf neue Probleme zu übertragen, diese zu analysieren und Lösungsstrategien alleine oder im Team zu entwickeln. Sie sind in der Lage, ihre Lösungen zu präsentieren und ggf. im kritischen Diskurs zu vertreten.									
Voraussetzung für die Vergabe von Leistungspunkten / Benotung (ggf. Gewichtung)		Art der Lehrform	Status	SWS	ECTS	Studienleistung	Prüfungsform	Prüfungsdauer (min)	Benotungssystem	Anteil an der Modulnote
	Titel									
	Mathematical Relativity	V Ü	o o	4 2	6 3	ja	K o. mP	90-180 o. 20-30	b	100
	Die Prüfungsform wird vom Dozenten bzw. der Dozentin festgelegt.									
Verwendbarkeit	Der erfolgreiche Abschluss eines der Module Mathematical Relativity oder Mathematical Quantum Theory ist Voraussetzung für die Teilnahme an Modul Scientific Project. Der erfolgreiche Abschluss von Modul Mathematical Relativity ist Voraussetzung für die Teilnahme an Modul Advanced Topics in Mathematical Relativity.									
Teilnahmevoraussetzungen	Die Teilnahme am Modul Geometry in Physics wird vorausgesetzt.									
Modulverantwortliche	Carla Cederbaum, Gerhard Huisken, Frank Loose									

Erläuterung der Abkürzungen:

Bewertungssystem : b=benotet, nb=nicht benotet

Prüfungsform : MA=Masterarbeit, mP=mündliche Einzelprüfung, K=Klausur, R=Referat, H=Hausarbeit

Lehrform : V=Vorlesung, VÜ=Vorlesung mit integrierten Übungen, Ü=Übungen, P=Projekt, S=Seminar,
C=Kolloquium, SV=Seminar oder Vorlesung

Status : o=obligatorisch, f=fakultativ

Sonstiges : h=Stunden, o.=oder, s.M.=siehe Modulbeschreibung, SWS=Semesterwochenstunden

Abschnitt 2: Erweiterungswissen

Modulnummer: MAT-40-31	Modultitel: Advanced Topics in Mathematics		Art des Moduls: Pflichtmodul mit Wahlmöglichkeit							
ECTS-Punkte	9									
Arbeitsaufwand - Kontaktzeit - Selbststudium	Arbeitsaufwand: 270 h	Kontaktzeit: 90 h	Selbststudium: 180 h							
Moduldauer	1 Semester									
Häufigkeit des Angebots	jedes Semester									
Fachsemester	1–3									
Unterrichtssprache	Englisch oder Deutsch									
Lehr- / Lernformen	Vorlesung 4 SWS + Übungen 2 SWS, Hausaufgaben									
Modulinhalt	Es müssen eine oder mehrere Vorlesungen mit den jeweiligen Übungen im entsprechenden Umfang aus dem Studiengang M.Sc. Mathematik belegt werden. Empfohlene Themengebiete sind beispielsweise Partielle Differentialgleichungen, Numerik von Differentialgleichungen, Harmonische Analysis, Lie-Gruppen, Nichtlineare Funktionalanalysis, Operatoren-Theorie, Stochastische Prozesse, Variationsrechnung, Symplektische Geometrie, Algebraische Topologie oder Algebraische Geometrie. Weitere Informationen zum Angebot finden sich im Modulhandbuch des Studiengangs M.Sc. Mathematik.									
Qualifikationsziele	Die Studierenden erarbeiten sich losgelöst von der physikalischen Anwendung vertiefte Kenntnisse in einem ausgewählten mathematischen Teilgebiet. Sie verbreitern damit die Basis ihres mathematischen Wissens und erweitern die ihnen zur Verfügung stehenden Methoden. Die weiteren Qualifikationsziele, insbesondere die konkreten inhaltlichen Qualifikationsziele, ergeben sich aus der Modulbeschreibung des zugehörigen Moduls im Modulhandbuch des M.Sc. Mathematik.									
Voraussetzung für die Vergabe von Leistungspunkten / Benotung (ggf. Gewichtung)		Art der Lehrform	Status	SWS	ECTS	Studienleistung	Prüfungsform	Prüfungsdauer (min)	Benotungssystem	Anteil an der Modulnote
	Titel									
	Advanced Topics in Mathematics	V Ü	o o	4 2	6 3	ja	K o. mP	90-180 o. 20-30	b	100
	Die Prüfungsform wird vom Dozenten bzw. der Dozentin festgelegt.									
Verwendbarkeit	Das Modul ist ggf. Voraussetzung für das Abschlussmodul.									
Teilnahmevoraussetzungen	Siehe Teilnahmevoraussetzungen im Modulhandbuch des Studiengang M.Sc. Mathematik.									
Modulverantwortliche	Die Studiendekanin oder der Studiendekan des Fachbereichs Mathematik									

Erläuterung der Abkürzungen:

Bewertungssystem : b=benotet, nb=nicht benotet

Prüfungsform : MA=Masterarbeit, mP=mündliche Einzelprüfung, K=Klausur, R=Referat, H=Hausarbeit

Lehrform : V=Vorlesung, VÜ=Vorlesung mit integrierten Übungen, Ü=Übungen, P=Projekt, S=Seminar,
C=Kolloquium, SV=Seminar oder Vorlesung

Status : o=obligatorisch, f=fakultativ

Sonstiges : h=Stunden, o.=oder, s.M.=siehe Modulbeschreibung, SWS=Semesterwochenstunden

Modulnummer: MAT-40-32	Modultitel: Advanced Topics in Theoretical Physics		Art des Moduls: Pflichtmodul mit Wahlmöglichkeit							
ECTS-Punkte	9									
Arbeitsaufwand - Kontaktzeit - Selbststudium	Arbeitsaufwand: 270 h	Kontaktzeit: 90 h	Selbststudium: 180 h							
Moduldauer	1 Semester									
Häufigkeit des Angebots	jedes Semester									
Fachsemester	1–3									
Unterrichtssprache	Englisch oder Deutsch									
Lehr- / Lernformen	Vorlesung 4 SWS + Übungen 2 SWS, Hausaufgaben									
Modulinhalt	Es müssen eine oder mehrere fortgeschrittene Vorlesungen mit den jeweiligen Übungen im entsprechenden Umfang aus dem Studiengang M.Sc. Physik oder dem Studiengang M.Sc. Astro and Particle Physics jeweils im Bereich der Theoretischen Physik belegt werden. Empfohlene Themenbereiche sind beispielsweise Quantenfeldtheorie und Teilchenphysik, Theoretische Astrophysik, Relativistic Astrophysics, Viel-Teilchen Quantensysteme, Fortgeschrittene Statistische Physik, Yang-Mills-Theorie, Theorie der kondensierten Materie, Theoretische Quantenoptik, Theorie der Quanteninformation, Kosmologie, Numerische Methoden in Physik und Astrophysik, Moderne Themen der Theoretischen Physik. Weitere Informationen zum Angebot finden sich im Modulhandbuch der jeweiligen Studiengänge.									
Qualifikationsziele	Die Studierenden erarbeiten sich losgelöst vom rigorosen mathematischen Formalismus Kenntnisse in einem ausgewählten Teilgebiet der Theoretischen Physik. Sie verbreitern damit die Basis ihres physikalischen Wissens und erweitern die ihnen zur Verfügung stehenden physikalischen Methoden. Die weiteren Qualifikationsziele, insbesondere die konkreten inhaltlichen Qualifikationsziele, ergeben sich aus der Modulbeschreibung des zugehörigen Moduls im Modulhandbuch des M.Sc. Physik bzw. des M.Sc. Astro and Particle Physics.									
Voraussetzung für die Vergabe von Leistungspunkten / Benotung (ggf. Gewichtung)		Art der Lehrform	Status	SWS	ECTS	Studienleistung	Prüfungsform	Prüfungsdauer (min)	Benotungssystem	Anteil an der Modulnote
	Titel									
	Advanced Topics in Theoretical Physics	V Ü	o o	4 2	6 3	ja	K o. mP	90-180 o. 20-30	b	100
	Die Prüfungsform wird vom Dozenten bzw. der Dozentin festgelegt.									
Verwendbarkeit	Das Modul ist ggf. Voraussetzung für das Abschlussmodul.									
Teilnahmevoraussetzungen	Siehe Teilnahmevoraussetzungen im Modulhandbuch des Studiengangs M.Sc. Physik bzw. M.Sc. Astro and Particle Physics.									
Modulverantwortliche	Die Studiendekanin oder der Studiendekan des Fachbereichs Physik									

Erläuterung der Abkürzungen:

Bewertungssystem : b=benotet, nb=nicht benotet

Prüfungsform : MA=Masterarbeit, mP=mündliche Einzelprüfung, K=Klausur, R=Referat, H=Hausarbeit

Lehrform : V=Vorlesung, VÜ=Vorlesung mit integrierten Übungen, Ü=Übungen, P=Projekt, S=Seminar,
C=Kolloquium, SV=Seminar oder Vorlesung

Status : o=obligatorisch, f=fakultativ

Sonstiges : h=Stunden, o.=oder, s.M.=siehe Modulbeschreibung, SWS=Semesterwochenstunden

Modulnummer: MAT-40-33	Modultitel: Seminar Knowledge Extension		Art des Moduls: Pflichtmodul mit Wahlmöglichkeit							
ECTS-Punkte	3									
Arbeitsaufwand - Kontaktzeit - Selbststudium	Arbeitsaufwand: 90 h			Kontaktzeit: 30 h			Selbststudium: 60 h			
Moduldauer	1 Semester									
Häufigkeit des Angebots	jedes Semester									
Fachsemester	2–3									
Unterrichtssprache	Englisch oder Deutsch									
Lehr- / Lernformen	Seminar: Referat, Diskussion, Teamarbeit, Handout									
Modulinhalt	Verschiedene Themen aus verschiedenen Gebieten der Mathematischen Physik, Mathematik oder Theoretischen Physik.									
Qualifikationsziele	Die Studierenden haben gelernt, sich ein fortgeschrittenes mathematisches oder physikalisches Thema selbständig und im Team mit wissenschaftlichen Methoden zu erarbeiten und dieses in Form eines Vortrags zu präsentieren. Sie haben dabei vertiefte Kompetenzen in der Präsentation mathematischer oder physikalischer Ergebnisse erworben, und sie sind in der Lage, diese Ergebnisse in kritischen Diskussionen zu vertreten.									
Voraussetzung für die Vergabe von Leistungspunkten / Benotung (ggf. Gewichtung)										
		Art der Lehrform	Status	SWS	ECTS	Studienleistung	Prüfungsform	Prüfungsdauer (min)	Benotungssystem	Anteil an der Modulnote
	Titel	S	o	2	3	ja	R	45–90	b	100
	Der Erwerb der Leistungspunkte setzt neben einem erfolgreichen Vortrag auch die regelmäßige aktive Teilnahme an der Veranstaltung voraus, etwa in Form von Fragen, Diskussionsbeiträgen oder der Bearbeitung von Aufgaben. Zudem kann eine schriftliche Ausarbeitung des eigenen Vortrages oder das Erstellen eines Handouts für die Teilnehmerinnen und Teilnehmer zu den zu erbringenden Leistungen gehören. Diese zusätzlichen Leistungen stellen die Studienleistung des Moduls dar.									
Verwendbarkeit	Das Modul ist ggf. Voraussetzung für das Abschlussmodul.									
Teilnahmevoraussetzungen	Erfolgreicher Abschluss eines der Module aus dem Studienbereich Grundlagen Mathematische Physik.									
Modulverantwortliche	Stefan Teufel									
Erläuterung der Abkürzungen:										
Bewertungssystem : b=benotet, nb=nicht benotet										
Prüfungsform : MA=Masterarbeit, mP=mündliche Einzelprüfung, K=Klausur, R=Referat, H=Hausarbeit										
Lehrform : V=Vorlesung, VÜ=Vorlesung mit integrierten Übungen, Ü=Übungen, P=Projekt, S=Seminar, C=Kolloquium, SV=Seminar oder Vorlesung										
Status : o=obligatorisch, f=fakultativ										
Sonstiges : h=Stunden, o.=oder, s.M.=siehe Modulbeschreibung, SWS=Semesterwochenstunden										

Abschnitt 3: Freier Wahlpflichtbereich

Der Freie Wahlpflichtbereich umfasst frei nach den individuellen Studien- und Forschungsinteressen zusammengestellte Module aus den Masterstudiengängen Mathematical Physics, Mathematik, Physik und Astro and Particle Physics. Zur Auswahl stehen u.a. Lehrveranstaltungen, die seitens der Studierenden nicht den Modulen MAT-40-31 bzw. MAT-40-32 zugeordnet wurden, das nicht im Studienbereich Grundlagen Mathematische Physik absolvierte Modul MAT-65-13 oder MAT-65-14, die Module MAT-65-15 und MAT-65-21 bis MAT-65-24, sowie weitere geeignete fortgeschrittene Module aus den Studiengängen Mathematik, Mathematical Physics, Physik und Astro and Particle Physics. Nicht alle Module können jährlich angeboten werden, es stehen jedoch jedes Semester ausreichend Module zur Auswahl. Ebenfalls ist sichergestellt, dass der Freie Wahlpflichtbereich grundsätzlich auf Englisch studierbar ist, wobei abhängig vom Lehrangebot gegebenenfalls Einschränkungen bei der Modulwahl gegeben sein können. Die Auswahl wird im Rahmen des Mentorings verpflichtend abgesprochen. Eine Doppelbelegung von Modulen oder Lehrveranstaltungen ist ausgeschlossen.

Die Studierenden erwerben dabei studien- und forschungsrelevante Kompetenzen. Sie erlernen selbständig einzuschätzen, welche zusätzlichen Qualifikationen und Kompetenzen für ihr Studium hilfreich sind und entsprechende Veranstaltungen gezielt auszuwählen. Sie sind in der Lage, sich spezifische Grundlagen für ihr zukünftiges Forschungsprofil auch jenseits des Pflichtprogramms des Masters Mathematical Physics anzueignen. Die Studierenden kennen und verstehen die gelernten Begriffe und Methoden und können mit ihrer Hilfe bekannte und neue Fragestellungen aus dem thematisierten Spezialgebiet analysieren. Sie sind in der Lage, die Aussagen und Beweise nachzuvollziehen und zu erklären. Die Studierenden können den aktuellen Forschungsstand im thematisierten Spezialgebiet wiedergeben und kritisch hinterfragen. In den Übungen haben die Studierenden sich einen sicheren, präzisen und selbständigen Umgang mit den Begriffen, Aussagen und Methoden aus der Vorlesung erarbeitet. Sie haben gelernt, die Methoden auf neue Probleme zu übertragen, diese zu analysieren und Lösungsstrategien alleine oder im Team zu entwickeln.

Modulnummer: MAT-65-14	Modultitel: Mathematical Statistical Physics		Art des Moduls: Wahlpflichtmodul
ECTS-Punkte	9		
Arbeitsaufwand - Kontaktzeit - Selbststudium	Arbeitsaufwand: 270 h	Kontaktzeit: 90 h	Selbststudium: 180 h
Moduldauer	1 Semester		
Häufigkeit des Angebots	unregelmäßig im Sommersemester		
Fachsemester	2-3		
Unterrichtssprache	Englisch		
Lehr- / Lernformen	Vorlesung 4 SWS + Übungen 2 SWS, Hausaufgaben		
Modulinhalt	Dieses Modul bietet eine Einführung in die Mathematische Statistische Physik. Themen sind insbesondere Konzepte der Wahrscheinlichkeitstheorie, die klassische statistische Mechanik von Gasen (Äquivalenz von Ensembles, thermisches Gleichgewicht, Boltzmann-Gleichung, Entropie), die Brownsche Bewegung (stochastische Prozesse, Wiener-Prozess), Gittermodelle (Ising-Modell, Gibbs-Maße, thermodynamischer Limes, Phasenübergänge), statistische Quantenmechanik (quantenmechanische Ensembles, Übergang ins thermische Gleichgewicht, Bose-Einstein-Kondensation). Optional können zusätzlich weitere Themen behandelt werden, beispielsweise offene Quantensysteme, Transportphänomene, Renormierungsgruppe oder Fluktuations-Dissipations-Theoreme.		
Qualifikationsziele	Die Studierenden kennen und verstehen die oben genannten Begriffe und Methoden und können mit ihrer Hilfe bekannte und neue Fragestellungen aus der Statistischen Physik analysieren. Weiterhin verknüpfen sie grundlegende physikalische Konzepte wie Gleichgewicht, Irreversibilität und Entropie und ihre mathematische Modellierung durch wahrscheinlichkeitstheoretische Methoden und sind in der Lage, die Relevanz und Adäquatheit der mathematischen Modellierung und der aus ihr abgeleiteten mathematischen Resultate zu hinterfragen. Dabei bauen sie insbesondere ihre im Grundstudium erlernten Methoden der Wahrscheinlichkeitstheorie aus und vernetzen Ihr Methoden- und Fachwissen. Sie sind in der Lage, die wesentlichen Aussagen der Vorlesung zu benennen und zu beweisen sowie die dargestellten Zusammenhänge einzuordnen und zu erläutern. In den Übungen haben sie sich einen sicheren, präzisen und selbständigen Umgang mit den Begriffen, Aussagen und Methoden aus der Vorlesung erarbeitet. Sie haben dabei gelernt, die Methoden auf neue Probleme zu übertragen, diese zu analysieren und Lösungsstrategien alleine oder im Team zu entwickeln. Sie sind in der Lage, ihre Lösungen zu präsentieren und ggf. im kritischen Diskurs zu vertreten.		

Voraussetzung für die Vergabe von Leistungspunkten / Benotung (ggf. Gewichtung)	Titel	Art der Lehrform	Status	SWS	ECTS	Studienleistung	Prüfungsform	Prüfungsdauer (min)	Benotungssystem	Anteil an der Modulnote
	Mathematical Statistical Physics	V	f	4	6	ja	K o. mP	90-180 o. 20-30	b	100
		Ü	f	2	3					
Die Prüfungsform wird vom Dozenten bzw. der Dozentin festgelegt.										
Verwendbarkeit	Der erfolgreiche Abschluss des Moduls ist Voraussetzung für die Teilnahme an Modul Advanced Topics in Mathematical Statistical Physics.									
Teilnahmevoraussetzungen	-									
Modulverantwortliche	Roderich Tumulka									
Erläuterung der Abkürzungen: Bewertungssystem : b=benotet, nb=nicht benotet Prüfungsform : MA=Masterarbeit, mP=mündliche Einzelprüfung, K=Klausur, R=Referat, H=Hausarbeit Lehrform : V=Vorlesung, VÜ=Vorlesung mit integrierten Übungen, Ü=Übungen, P=Projekt, S=Seminar, C=Kolloquium, SV=Seminar oder Vorlesung Status : o=obligatorisch, f=fakultativ Sonstiges : h=Stunden, o.=oder, s.M.=siehe Modulbeschreibung, SWS=Semesterwochenstunden										

Modulnummer: MAT-65-15	Modultitel: Foundations of Quantum Mechanics		Art des Moduls: Wahlpflichtmodul							
ECTS-Punkte	9									
Arbeitsaufwand - Kontaktzeit - Selbststudium	Arbeitsaufwand: 270 h	Kontaktzeit: 90 h	Selbststudium: 180 h							
Moduldauer	1 Semester									
Häufigkeit des Angebots	regelmäßig alle zwei Jahre									
Fachsemester	2-3									
Unterrichtssprache	Englisch									
Lehr- / Lernformen	Vorlesung 4 SWS + Übungen 2 SWS, Hausaufgaben									
Modulinhalt	Das Modul bietet eine Einführung in grundlegende Fragen der Quantenmechanik, einschließlich ihrer mathematischen und philosophischen Aspekte. Verschiedene Interpretationen wie Kopenhagen, die Bohmsche Mechanik, viele Welten und der Kollaps der spontanen Wellenfunktion werden vorgestellt und mathematisch und physikalisch analysiert. Weitere Themen sind die Bornsche Regel, die Heisenbergsche Unschärferelation, das Quantenmeßproblem, der Nichtlokalitätssatz von Bell, identische Teilchen und Sätze ohne versteckte Variablen.									
Qualifikationsziele	Die Studierenden kennen und können die Regeln der Quantenmechanik in verschiedenen Umgebungen anwenden und verstehen mehrere wichtige Theorien zur Funktionsweise der Quantenwelt. Sie erwerben mathematische Kenntnisse, die für die Anwendung dieser Regeln und Theorien relevant sind, und können die mathematische Behandlung mit der physikalischen Bedeutung verbinden. Sie machen sich mit den überraschenden Phänomenen und Paradoxien der Quantenmechanik vertraut. Sie wissen zu schätzen, was an der orthodoxen Interpretation umstritten ist und warum und können die aktuelle Debatte über grundlegende Fragen verfolgen. Sie sind in der Lage, die wesentlichen Aussagen der Vorlesung zu benennen und zu beweisen sowie die dargestellten Zusammenhänge einzuordnen und zu erläutern. In den Übungen haben sie sich einen sicheren, präzisen und selbständigen Umgang mit den Begriffen, Aussagen und Methoden aus der Vorlesung erarbeitet. Sie haben dabei gelernt, die Methoden auf neue Probleme zu übertragen, diese zu analysieren und Lösungsstrategien alleine oder im Team zu entwickeln. Sie sind in der Lage, ihre Lösungen zu präsentieren und ggf. im kritischen Diskurs zu vertreten.									
Voraussetzung für die Vergabe von Leistungspunkten / Benotung (ggf. Gewichtung)	Titel	Art der Lehrform	Status	SWS	ECTS	Studienleistung	Prüfungsform	Prüfungsdauer (min)	Benotungssystem	Anteil an der Modulnote
	Foundations of Quantum Mechanics	V	f	4	6	ja	K o. mP	90-180 o. 20-30	b	100
		Ü	f	2	3					
Die Prüfungsform wird vom Dozenten bzw. der Dozentin festgelegt.										
Verwendbarkeit	-									
Teilnahmevoraussetzungen	Die grundlegenden Module zur Analysis und Linearen Algebra werden vorausgesetzt.									
Modulverantwortliche	Roderich Tumulka									

Erläuterung der Abkürzungen:

Bewertungssystem : b=benotet, nb=nicht benotet

Prüfungsform : MA=Masterarbeit, mP=mündliche Einzelprüfung, K=Klausur, R=Referat, H=Hausarbeit

Lehrform : V=Vorlesung, VÜ=Vorlesung mit integrierten Übungen, Ü=Übungen, P=Projekt, S=Seminar,
C=Kolloquium, SV=Seminar oder Vorlesung

Status : o=obligatorisch, f=fakultativ

Sonstiges : h=Stunden, o.=oder, s.M.=siehe Modulbeschreibung, SWS=Semesterwochenstunden

Modulnummer: MAT-65-21	Modultitel: Advanced Topics in Mathematical Quantum Theory		Art des Moduls: Wahlpflichtmodul							
ECTS-Punkte	9									
Arbeitsaufwand - Kontaktzeit - Selbststudium	Arbeitsaufwand: 270 h			Kontaktzeit: 90 h			Selbststudium: 180 h			
Moduldauer	1 Semester									
Häufigkeit des Angebots	unregelmäßig									
Fachsemester	2-3									
Unterrichtssprache	Englisch									
Lehr- / Lernformen	Vorlesung 4 SWS + Übungen 2 SWS, Hausaufgaben									
Modulinhalt	Dieses Modul bietet eine Einführung in ein weiterführendes Thema der Mathematischen Vielteilchen-Quantentheorie, beispielsweise Hartree und Hartree-Fock Theorie, BCS Theorie, Adiabatentheorie, Renormierungsgruppe, mathematische Modelle in der Quantenfeldtheorie und Transport in wechselwirkenden Fermionensystemen. Es werden sowohl die für das jeweilige Gebiet grundlegenden mathematischen Resultate und physikalischen Vorstellungen vermittelt, als auch ein Einblick in den aktuellen Forschungsstand und bestehende offene Probleme gegeben.									
Qualifikationsziele	Die Studierenden kennen und verstehen die gelernten Begriffe und Methoden und können mit ihrer Hilfe bekannte und neue Fragestellungen aus dem thematisierten Spezialgebiet der Mathematischen Quantentheorie analysieren. Sie sind in der Lage, die wesentlichen Aussagen der Vorlesung zu benennen und zu beweisen sowie die dargestellten Zusammenhänge einzuordnen und zu erläutern. Die Studierenden können den aktuellen Forschungsstand im thematisierten Spezialgebiet wiedergeben und kritisch hinterfragen. In den Übungen haben sie sich einen sicheren, präzisen und selbständigen Umgang mit den Begriffen, Aussagen und Methoden aus der Vorlesung erarbeitet. Sie haben dabei gelernt, die Methoden auf neue Probleme zu übertragen, diese zu analysieren und Lösungsstrategien alleine oder im Team zu entwickeln. Sie sind in der Lage, ihre Lösungen zu präsentieren und ggf. im kritischen Diskurs zu vertreten.									
Voraussetzung für die Vergabe von Leistungspunkten / Benotung (ggf. Gewichtung)										
	Titel	Art der Lehrform	Status	SWS	ECTS	Studienleistung	Prüfungsform	Prüfungsdauer (min)	Benotungssystem	Anteil an der Modulnote
	Advanced Topics in Mathematical Quantum Theory	V Ü	o o	4 2	6 3	ja	K o. mP	90-180 o. 20-30	b	100
	Die Prüfungsform wird vom Dozenten bzw. der Dozentin festgelegt.									
Verwendbarkeit	Das Modul ist ggf. Voraussetzung für das Abschlussmodul.									
Teilnahmevoraussetzungen	Kenntnisse aus dem Modul Mathematical Quantum Theory werden vorausgesetzt.									
Modulverantwortliche	Stefan Teufel									

Erläuterung der Abkürzungen:

Bewertungssystem : b=benotet, nb=nicht benotet

Prüfungsform : MA=Masterarbeit, mP=mündliche Einzelprüfung, K=Klausur, R=Referat, H=Hausarbeit

Lehrform : V=Vorlesung, VÜ=Vorlesung mit integrierten Übungen, Ü=Übungen, P=Projekt, S=Seminar,
C=Kolloquium, SV=Seminar oder Vorlesung

Status : o=obligatorisch, f=fakultativ

Sonstiges : h=Stunden, o.=oder, s.M.=siehe Modulbeschreibung, SWS=Semesterwochenstunden

Modulnummer: MAT-65-22	Modultitel: Advanced Topics in Mathematical Quantum Theory (kurze Version)				Art des Moduls: Wahlpflichtmodul					
ECTS-Punkte	6									
Arbeitsaufwand - Kontaktzeit - Selbststudium	Arbeitsaufwand: 180 h			Kontaktzeit: 60 h			Selbststudium: 120 h			
Moduldauer	1 Semester									
Häufigkeit des Angebots	unregelmäßig im Sommersemester									
Fachsemester	2									
Unterrichtssprache	Englisch									
Lehr- / Lernformen	Vorlesung 2 SWS + Übungen 2 SWS, Hausaufgaben									
Modulinhalt	Dieses Modul bietet eine kurze Einführung in ein weiterführendes Thema der Mathematischen Vielteilchen-Quantentheorie, beispielsweise Hartree und Hartree-Fock Theorie, BCS Theorie, Adiabathentheorie, Renormierungsgruppe, mathematische Modelle in der Quantenfeldtheorie und Transport in wechselwirkenden Fermionensystemen. Es werden sowohl die für das jeweilige Gebiet grundlegenden mathematischen Resultate und physikalischen Vorstellungen vermittelt, als auch ein Einblick in den aktuellen Forschungsstand und bestehende offene Probleme gegeben.									
Qualifikationsziele	Die Studierenden kennen und verstehen die gelernten Begriffe und Methoden und können mit ihrer Hilfe bekannte und neue Fragestellungen aus dem thematisierten Spezialgebiet der Mathematischen Quantentheorie analysieren. Sie sind in der Lage, die wesentlichen Aussagen der Vorlesung zu benennen und zu beweisen sowie die dargestellten Zusammenhänge einzuordnen und zu erläutern. Die Studierenden können den aktuellen Forschungsstand im thematisierten Spezialgebiet wiedergeben und in ersten Ansätzen kritisch hinterfragen. In den Übungen haben sie sich einen sicheren, präzisen und selbständigen Umgang mit den Begriffen, Aussagen und Methoden aus der Vorlesung erarbeitet. Sie haben dabei gelernt, die Methoden auf neue Probleme zu übertragen, diese zu analysieren und Lösungsstrategien alleine oder im Team zu entwickeln. Sie sind in der Lage, ihre Lösungen zu präsentieren und ggf. im kritischen Diskurs zu vertreten.									
Voraussetzung für die Vergabe von Leistungspunkten / Benotung (ggf. Gewichtung)		Art der Lehrform	Status	SWS	ECTS	Studienleistung	Prüfungsform	Prüfungsdauer (min)	Benotungssystem	Anteil an der Modulnote
	Titel									
	Advanced Topics in Mathematical Quantum Theory	V Ü	o o	2 2	3 3	ja	K o. mP	90-180 o. 20-30	b	100
	Die Prüfungsform wird vom Dozenten bzw. der Dozentin festgelegt.									
Verwendbarkeit	Das Modul ist ggf. Voraussetzung für das Abschlussmodul.									
Teilnahmevoraussetzungen	Kenntnisse aus dem Modul Mathematical Quantum Theory werden vorausgesetzt.									
Modulverantwortliche	Stefan Teufel									

Erläuterung der Abkürzungen:

Bewertungssystem : b=benotet, nb=nicht benotet

Prüfungsform : MA=Masterarbeit, mP=mündliche Einzelprüfung, K=Klausur, R=Referat, H=Hausarbeit

Lehrform : V=Vorlesung, VÜ=Vorlesung mit integrierten Übungen, Ü=Übungen, P=Projekt, S=Seminar,
C=Kolloquium, SV=Seminar oder Vorlesung

Status : o=obligatorisch, f=fakultativ

Sonstiges : h=Stunden, o.=oder, s.M.=siehe Modulbeschreibung, SWS=Semesterwochenstunden

Modulnummer: MAT-65-23	Modultitel: Advanced Topics in Mathematical Relativity		Art des Moduls: Wahlpflichtmodul							
ECTS-Punkte	9									
Arbeitsaufwand - Kontaktzeit - Selbststudium	Arbeitsaufwand: 270 h		Kontaktzeit: 90 h		Selbststudium: 180 h					
Moduldauer	1 Semester									
Häufigkeit des Angebots	unregelmäßig im Wintersemester									
Fachsemester	3									
Unterrichtssprache	Englisch									
Lehr- / Lernformen	Vorlesung 4 SWS + Übungen 2 SWS, Hausaufgaben									
Modulinhalt	Dieses Modul bietet eine Einführung in ein weiterführendes Thema der Mathematischen Relativitätstheorie. Es werden sowohl die für das jeweilige Gebiet grundlegenden mathematischen Resultate und physikalischen Vorstellungen vermittelt, als auch ein Einblick in den aktuellen Forschungsstand und bestehende offene Probleme gegeben.									
Qualifikationsziele	Die Studierenden erwerben vertiefte Kenntnisse zu ausgewählten Fragestellungen der Mathematischen Relativitätstheorie. Sie erlernen analytische und geometrische Techniken zum Nachweis und zur Untersuchung von Lösungen der Einstein Gleichungen und können die physikalische Relevanz der mathematischen Ergebnisse einordnen. Sie sind in der Lage, die wesentlichen Aussagen der Vorlesung zu benennen und zu beweisen sowie die dargestellten Zusammenhänge einzuordnen und zu erläutern. Die Studierenden können den aktuellen Forschungsstand im thematisierten Spezialgebiet wiedergeben und kritisch hinterfragen. In den Übungen haben sie sich einen sicheren, präzisen und selbständigen Umgang mit den Begriffen, Aussagen und Methoden aus der Vorlesung erarbeitet. Sie haben dabei gelernt, die Methoden auf neue Probleme zu übertragen, diese zu analysieren und Lösungsstrategien alleine oder im Team zu entwickeln. Sie sind in der Lage, ihre Lösungen zu präsentieren und ggf. im kritischen Diskurs zu vertreten.									
Voraussetzung für die Vergabe von Leistungspunkten / Benotung (ggf. Gewichtung)										
	Titel	Art der Lehrform	Status	SWS	ECTS	Studienleistung	Prüfungsform	Prüfungsdauer (min)	Benotungssystem	Anteil an der Modulnote
	Advanced Topics in Mathematical Relativity	V Ü	o o	4 2	6 3	ja	K o. mP	90-180 o. 20-30	b	100
	Die Prüfungsform wird vom Dozenten bzw. der Dozentin festgelegt.									
Verwendbarkeit	Das Modul ist ggf. Voraussetzung für das Abschlussmodul.									
Teilnahmevoraussetzungen	Kenntnisse aus dem Modul Mathematical Relativity werden vorausgesetzt.									
Modulverantwortliche	Carla Cederbaum, Gerhard Huisken, Frank Loose									

Erläuterung der Abkürzungen:

Bewertungssystem : b=benotet, nb=nicht benotet

Prüfungsform : MA=Masterarbeit, mP=mündliche Einzelprüfung, K=Klausur, R=Referat, H=Hausarbeit

Lehrform : V=Vorlesung, VÜ=Vorlesung mit integrierten Übungen, Ü=Übungen, P=Projekt, S=Seminar,
C=Kolloquium, SV=Seminar oder Vorlesung

Status : o=obligatorisch, f=fakultativ

Sonstiges : h=Stunden, o.=oder, s.M.=siehe Modulbeschreibung, SWS=Semesterwochenstunden

Modulnummer: MAT-65-24	Modultitel: Advanced Topics in Mathematical Relativity (kurze Version)		Art des Moduls: Wahlpflichtmodul							
ECTS-Punkte	6									
Arbeitsaufwand - Kontaktzeit - Selbststudium	Arbeitsaufwand: 180 h			Kontaktzeit: 60 h			Selbststudium: 120 h			
Moduldauer	1 Semester									
Häufigkeit des Angebots	unregelmäßig im Wintersemester									
Fachsemester	3									
Unterrichtssprache	Englisch									
Lehr- / Lernformen	Vorlesung 2 SWS + Übungen 2 SWS, Hausaufgaben									
Modulinhalt	Dieses Modul bietet eine kurze Einführung in ein weiterführendes Thema der Mathematischen Relativitätstheorie. Es werden sowohl die für das jeweilige Gebiet grundlegenden mathematischen Resultate und physikalischen Vorstellungen vermittelt, als auch ein Einblick in den aktuellen Forschungsstand und bestehende offene Probleme gegeben.									
Qualifikationsziele	<p>Die Studierenden erwerben erste vertiefte Kenntnisse zu ausgewählten Fragestellungen der Mathematischen Relativitätstheorie. Sie erlernen analytische und geometrische Techniken zum Nachweis und zur Untersuchung von Lösungen der Einstein Gleichungen und können die physikalische Relevanz der mathematischen Ergebnisse einordnen. Sie sind in der Lage, die wesentlichen Aussagen der Vorlesung zu benennen und zu beweisen sowie die dargestellten Zusammenhänge einzuordnen und zu erläutern. Die Studierenden können den aktuellen Forschungsstand im thematisierten Spezialgebiet wiedergeben und in ersten Ansätzen kritisch hinterfragen.</p> <p>In den Übungen haben sie sich einen sicheren, präzisen und selbständigen Umgang mit den Begriffen, Aussagen und Methoden aus der Vorlesung erarbeitet. Sie haben dabei gelernt, die Methoden auf neue Probleme zu übertragen, diese zu analysieren und Lösungsstrategien alleine oder im Team zu entwickeln. Sie sind in der Lage, ihre Lösungen zu präsentieren und ggf. im kritischen Diskurs zu vertreten.</p>									
Voraussetzung für die Vergabe von Leistungspunkten / Benotung (ggf. Gewichtung)		Art der Lehrform	Status	SWS	ECTS	Studienleistung	Prüfungsform	Prüfungsdauer (min)	Benotungssystem	Anteil an der Modulnote
	Titel									
	Advanced Topics in Mathematical Relativity	V Ü	o o	2 2	3 3	ja	K o. mP	90-180 o. 20-30	b	100
	Die Prüfungsform wird vom Dozenten bzw. der Dozentin festgelegt.									
Verwendbarkeit	Das Modul ist ggf. Voraussetzung für das Abschlussmodul.									
Teilnahmevoraussetzungen	Kenntnisse aus dem Modul Mathematical Relativity werden vorausgesetzt.									
Modulverantwortliche	Carla Cederbaum, Gerhard Huisken, Frank Loose									

Erläuterung der Abkürzungen:

Bewertungssystem : b=benotet, nb=nicht benotet

Prüfungsform : MA=Masterarbeit, mP=mündliche Einzelprüfung, K=Klausur, R=Referat, H=Hausarbeit

Lehrform : V=Vorlesung, VÜ=Vorlesung mit integrierten Übungen, Ü=Übungen, P=Projekt, S=Seminar,
C=Kolloquium, SV=Seminar oder Vorlesung

Status : o=obligatorisch, f=fakultativ

Sonstiges : h=Stunden, o.=oder, s.M.=siehe Modulbeschreibung, SWS=Semesterwochenstunden

Modulnummer: MAT-65-35	Modultitel: Quantum Shannon Theory and Beyond		Art des Moduls: Wahlpflichtmodul
ECTS-Punkte	9		
Arbeitsaufwand - Kontaktzeit - Selbststudium	Arbeitsaufwand: 270 h	Kontaktzeit: 90 h	Selbststudium: 180 h
Moduldauer	1 Semester		
Häufigkeit des Angebots	unregelmäßig		
Fachsemester	2-3		
Unterrichtssprache	Englisch		
Lehr- / Lernformen	Vorlesung 4 SWS + Übungen 2 SWS, Hausaufgaben		
Modulinhalt	<p>Contents:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Introduction to fundamental concepts and the basic formalism: Pure/mixed states, evolution, completely positive maps, measurements Schmidt decomposition. • Quantum channels, Kraus representation, Choi matrices, POVM formalism. Interpretation of channels and their application to coherent communication and purification. • Trace distance, fidelity and entropy measures. Quantum relative entropy and quantum entropy inequalities. Hypothesis testing. • Monotonicity, recoverability and quantum data compression. Classical and quantum data communication. • Entanglement in dense coding, quantum teleportation and quantum cryptography. Use of Bell inequalities to characterize quantum weirdness of entanglement and non-locality. 		
Qualifikationsziele	<p>In this course, the students have learned about the transmission of information over a noisy quantum communication channel. They know how to use diverse quantum entropic measures for several quantum information processing tasks, such as quantum tomography, quantum estimation and quantum hypothesis testing. Students are able to name and prove the essential statements and concepts from the lecture as well as to explain the context developed in the lecture and to put it into a larger framework.</p> <p>Through homework assignments and exercise classes students develop a confident, precise, and independent acquaintance with the notions, statements, and methods explained in the lectures. They learn how to transfer these methods to new problems, to analyse them and to develop solution strategies on their own and within a group. They are able to present their solutions and to stand for them in a critical discourse if necessary.</p>		

Voraussetzung für die Vergabe von Leistungspunkten / Benotung (ggf. Gewichtung)	Titel	Art der Lehrform	Status	SWS	ECTS	Studienleistung	Prüfungsform	Prüfungsdauer (min)	Benotungssystem	Anteil an der Modulnote
	Quantum Shannon Theory and Beyond	V	f	4	6	ja	K o. mP	90-180 o. 20-30	b	100
		Ü	f	2	3					
In dem Modul ist ein Übungsnachweis als Studienleistung zu erwerben. Für die Teilnahme an der Prüfung muss der Übungsnachweis erworben worden sein. Die Prüfungsform Klausur oder mündliche Prüfung wird von der Prüferin oder dem Prüfer mit Genehmigung des Prüfungsausschusses festgelegt.										
Literatur	<p>Exemplarische Literatur:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Michael A. Nielsen, Isaac L. Chuang: Quantum Computation and Quantum Information. CUP 2010. • Mark M. Wilde: From Classical to Quantum Shannon Theory. arXiv 2019. • John Watrous: The theory of quantum information. CUP 2018. • Eric A. Carlen: Trace inequalities and quantum entropy. Rutgers 2009. • Michael A. Wolf: Quantum Channels and Operations Guided Tour. Lecture Notes 2012. 									
Verwendbarkeit	-									
Teilnahmevoraussetzungen	Die grundlegenden Module zur Analysis und Linearen Algebra werden vorausgesetzt.									
Modulverantwortliche	Angela Capel Cuevas									
<p>Erläuterung der Abkürzungen:</p> <p>Bewertungssystem : b=benotet, nb=nicht benotet</p> <p>Prüfungsform : MA=Masterarbeit, mP=mündliche Einzelprüfung, K=Klausur, R=Referat, H=Hausarbeit</p> <p>Lehrform : V=Vorlesung, VÜ=Vorlesung mit integrierten Übungen, Ü=Übungen, P=Projekt, S=Seminar, C=Kooloqium, SV=Seminar oder Vorlesung</p> <p>Status : o=obligatorisch, f=fakultativ</p> <p>Sonstiges : h=Stunden, o.=oder, s.M.=siehe Modulbeschreibung, SWS=Semesterwochenstunden</p>										

Abschnitt 4: Wissenschaftliches Arbeiten

Modulnummer: MAT-40-41	Modultitel: Scientific Project		Art des Moduls: Pflichtmodul							
ECTS-Punkte	9									
Arbeitsaufwand - Kontaktzeit - Selbststudium	Arbeitsaufwand: 270 h			Kontaktzeit: 15 h			Selbststudium: 255 h			
Moduldauer	1 Semester									
Häufigkeit des Angebots	jedes Semester									
Fachsemester	3									
Unterrichtssprache	Englisch									
Lehr- / Lernformen	Individuelle Betreuung durch Betreuer/in, Studium wissenschaftlicher Arbeiten.									
Modulinhalt	<p>Inhalt:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Formulierung einer fortgeschrittenen wissenschaftlichen Aufgabenstellung in Abstimmung mit dem Betreuer. • Eigenständige Suche und Studium relevanter wissenschaftlicher Literatur. • Formulierung spezifischer Fragestellungen und methodischer Ansätze zu deren Lösung. • Schriftliche Darstellung des Projekts im Kontext des aktuellen Forschungsstandes auf 5-10 Seiten. <p>Dieses Modul dient in der Regel zur Vorbereitung der Masterarbeit.</p>									
Qualifikationsziele	<p>Die Studierenden</p> <ul style="list-style-type: none"> • entwickeln die Fähigkeit, sich systematisch in ein neues Teilgebiet einzuarbeiten, • lernen kritisches Arbeiten und Herausbilden eines fundierten, fachlichen und fachübergreifenden Urteilsvermögens, • erwerben Qualifikationen in den Bereichen Literaturrecherche, Identifikation von relevanten Fragestellungen und von geeigneten Methoden, sowie schriftliche Darstellung eines Vorhabens. 									
Voraussetzung für die Vergabe von Leistungspunkten / Benotung (ggf. Gewichtung)		Art der Lehrform	Status	SWS	ECTS	Studienleistung	Prüfungsform	Prüfungsdauer (min)	Benotungssystem	Anteil an der Modulnote
	Titel	Wissenschaftliches Projekt	P	o	1	9	ja	-	-	nb
Verwendbarkeit	Der erfolgreiche Abschluss dieses Moduls ist Voraussetzung für die Teilnahme am Abschlussmodul.									
Teilnahmevoraussetzungen	Erfolgreicher Abschluss des Moduls Geometry in Physics sowie eines der Module Mathematical Quantum Theory oder Mathematical Relativity.									

Modul- verantwortliche	Stefan Teufel, Werner Vogelsang.
Erläuterung der Abkürzungen: Bewertungssystem : b=benotet, nb=nicht benotet Prüfungsform : MA=Masterarbeit, mP=mündliche Einzelprüfung, K=Klausur, R=Referat, H=Hausarbeit Lehrform : V=Vorlesung, VÜ=Vorlesung mit integrierten Übungen, Ü=Übungen, P=Projekt, S=Seminar, C=Kolloquium, SV=Seminar oder Vorlesung Status : o=obligatorisch, f=fakultativ Sonstiges : h=Stunden, o.=oder, s.M.=siehe Modulbeschreibung, SWS=Semesterwochenstunden	

Modulnummer: MAT-40-42	Modultitel: Mathematical Physics Colloquium		Art des Moduls: Pflichtmodul							
ECTS-Punkte	3									
Arbeitsaufwand - Kontaktzeit - Selbststudium	Arbeitsaufwand: 90 h		Kontaktzeit: 60 h		Selbststudium: 30 h					
Moduldauer	2 Semester									
Häufigkeit des Angebots	jedes Semester									
Fachsemester	3–4									
Unterrichtssprache	Englisch									
Lehr- / Lernformen	Vorträge, Diskussionen. Spezifische Lernform: Studierende stellen im letzten Semester Ihre Masterarbeit vor.									
Modulinhalt	An 15 Terminen (je 2h) während jedes Semesters finden Vorträge und Diskussionen zu aktuellen Themen der Mathematischen Physik statt. Vortragende sind Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftler aus den beteiligten Fachbereichen sowie Gäste und Masterstudierende, die die Ergebnisse ihrer Masterarbeit vorstellen.									
Qualifikationsziele	Die Studierenden erhalten einen Einblick in aktuelle Entwicklungen in der Mathematischen Physik, auch über den Bereich ihrer Spezialisierung hinaus. Sie entwickeln die Fähigkeit, wissenschaftlichen Vorträgen zu folgen und diese in größerer Runde zu diskutieren und zu hinterfragen. Dadurch erwerben sie auch interdisziplinäre und interkulturelle Kompetenzen durch die regelmäßige Zusammenarbeit und Diskussion in gemischten Gruppen.									
Voraussetzung für die Vergabe von Leistungspunkten / Benotung (ggf. Gewichtung)										
	Titel	Art der Lehrform	Status	SWS	ECTS	Studienleistung	Prüfungsform	Prüfungsdauer (min)	Benotungssystem	Anteil an der Modulnote
	Kolloquium Wintersemester	C	o	2	1	nein	-	-	nb	-
	Kolloquium Sommersemester	C	o	2	2	nein	-	-	nb	-
Verwendbarkeit	-									
Teilnahmevoraussetzungen	-									
Modulverantwortliche	Carla Cederbaum, Stefan Teufel									
Erläuterung der Abkürzungen:										
Bewertungssystem : b=benotet, nb=nicht benotet										
Prüfungsform : MA=Masterarbeit, mP=mündliche Einzelprüfung, K=Klausur, R=Referat, H=Hausarbeit										
Lehrform : V=Vorlesung, VÜ=Vorlesung mit integrierten Übungen, Ü=Übungen, P=Projekt, S=Seminar, C=Kolloquium, SV=Seminar oder Vorlesung										
Status : o=obligatorisch, f=fakultativ										
Sonstiges : h=Stunden, o.=oder, s.M.=siehe Modulbeschreibung, SWS=Semesterwochenstunden										

Modulnummer: MAT-40-43	Modultitel: Abschlussmodul M.Sc. Mathematische Physik		Art des Moduls: Pflichtmodul
ECTS-Punkte	30		
Arbeitsaufwand - Kontaktzeit - Selbststudium	Arbeitsaufwand: 900 h	Kontaktzeit: 0 h	Selbststudium: 900 h
Moduldauer	1 Semester		
Häufigkeit des Angebots	jedes Semester		
Fachsemester	4		
Unterrichtssprache	Englisch oder Deutsch		
Lehr- / Lernformen	Masterarbeit		
Modulinhalt	<p>Die Studierenden sind in eine Arbeitsgruppe eingebunden und nehmen an den Arbeitsgruppenseminaren teil. Sie haben unter Anleitung durch eine Betreuerin oder einen Betreuer eine begrenzte Aufgabenstellung aus der Mathematischen Physik mit wissenschaftlichen Methoden zu bearbeiten und schriftlich in englischer oder in deutscher Sprache darzustellen. Im Einzelnen umfasst dies:</p> <ul style="list-style-type: none"> • die Formulierung einer wissenschaftlichen Fragestellung in Abstimmung mit der Betreuerin oder dem Betreuer; • die eigenständige Suche nach und das Studium von relevanter wissenschaftlicher Literatur; • die Formulierung geeigneter Fragestellungen und methodischer Ansätze zu deren Lösung; • die eigenständige Durchführung des Projekts, die schriftliche Darstellung des Projekts und der Ergebnisse im Kontext des aktuellen Forschungsstandes; • die Vorstellung der Ergebnisse in englischer Sprache im Mathematical Physics Colloquium. 		
Qualifikationsziele	<p>Die Studierenden</p> <ul style="list-style-type: none"> • sind in der Lage, sich innerhalb einer vorgegebenen Frist in eine neue Problemstellung einzuarbeiten und diese mit wissenschaftlichen Methoden zunehmend selbständig zu bearbeiten; • können sich in den Stand der wissenschaftlichen Literatur zu einem neuen Thema einarbeiten; • können wissenschaftliche Ergebnisse kritisch interpretieren und in den jeweiligen Kenntnisstand einordnen; • sind in der Lage, ihre Ergebnisse nach den Grundsätzen guter wissenschaftlicher Praxis schriftlich darzustellen; • sind in der Lage, ihre Arbeit in einem internationalen wissenschaftlichen Umfeld zu präsentieren. 		

Voraussetzung für die Vergabe von Leistungspunkten / Benotung (ggf. Gewichtung)	Titel	Art der Lehrform	Status	SWS	ECTS	Studienleistung	Prüfungsform	Prüfungsdauer (min)	Benotungssystem	Anteil an der Modulnote
	Masterarbeit	MA	o	-	30	nein	MA	-	b	100
Verwendbarkeit	-									
Teilnahmevoraussetzungen	<ul style="list-style-type: none"> • 27 LP aus dem Abschnitt Grundlagen Mathematische Physik, • insgesamt 18 LP aus den Abschnitten Erweiterungswissen und Freier Wahlpflichtbereich, • erfolgreicher Abschluss von Modul Scientific Project. 									
Modulverantwortliche	Stefan Teufel, Werner Vogelsang.									
Erläuterung der Abkürzungen:										
Bewertungssystem : b=benotet, nb=nicht benotet										
Prüfungsform : MA=Masterarbeit, mP=mündliche Einzelprüfung, K=Klausur, R=Referat, H=Hausarbeit										
Lehrform : V=Vorlesung, VÜ=Vorlesung mit integrierten Übungen, Ü=Übungen, P=Projekt, S=Seminar, C=Kolloquium, SV=Seminar oder Vorlesung										
Status : o=obligatorisch, f=fakultativ										
Sonstiges : h=Stunden, o.=oder, s.M.=siehe Modulbeschreibung, SWS=Semesterwochenstunden										