

(Wahlpflicht-Modul) Oberseminar für Masterstudenten

# “Twisted Light”

## Drehimpuls von Licht- und Teilchenstrahlen

---

### 1 Zur Organisation des Seminars

Liebe Studenten und Mitstreiter,

wie angekündigt biete ich im kommenden Sommersemester ein (Wahlpflicht-) **Seminar für Masterstudenten zu Themen der (Quanten-) Theorie des Lichtes und der Vortexstrahlen** an. Das Ziel ist es, Ihnen (aber auch uns) anhand ausgewählter Themen einen — etwas tieferen — Einblick in dieses sich gegenwärtig rasant entwickelnde Gebiet zu geben. **Der Schwerpunkt des Seminars richtet sich hierbei auf die Drehimpulseigenschaften des Lichtes und die Charakterisierung von Vortexstrahlen.** Doch obwohl dies ein Theorie-Seminar ist, soll es uns hierbei nicht (nur) um mathematische Feinheiten gehen, sondern vor allem um ein erstes aber auch (selbst-) kritisches Einlesen in ein aktuelles Thema der (Quanten-) Optik, das gleichermaßen theoretische und experimentelle Herangehensweisen vereint und in dem präzise Begriffe gegenwärtig noch herausgearbeitet werden. Unser vorrangiges Ziel ist es daher, mehr über dieses Gebiet der Vortexstrahlen und des Drehimpulses des Lichtes zu lernen und künftig **frei und in einem soliden Kontext darüber sprechen zu können.**

Das Oberseminar für Masterstudenten schließt neben Vorträgen ein regelmäßiges Selbststudium sowie eine (zu benotende) schriftliche Ausarbeitung und mehrere Besprechungen dazu ein. **Eine Vorbesprechung des Seminars, in der wir auch die Themen und vorläufigen Termine zuordnen wollen, ist für Anfang bzw. Mitte April d.J. geplant.**

Das Seminar wendet sich generell an Masterstudenten der Physik, wobei **Grundkenntnisse in der (theoretischen bzw. Quanten-) Optik und Quantentheorie vorteilhaft sind.** Unser Ziel ist es, uns anhand des kürzlich erschienenen Sammelbandes *The Angular Momentum of Light* von D. L. Andrews und M. Babiker (Hrg.) aktuelle Fragestellungen und Lösungsansätze bei der Beschreibung und Anwendung von Vortexstrahlen zu erschließen. — Anbei sollen daher kurz einige Bedingungen und

Anforderungen genannt werden, die mir für eine erfolgreiche Seminarteilnahme wichtig und sinnvoll erscheinen.

Ich werde dieses "Dokument" zu gegebener Zeit weiterführen und auf der Webseite unserer Arbeitsgruppe aktualisieren. Falls Ihnen die Themen und Bedingungen des Seminars zusagen, senden Sie mir bitte eine Email an [s.fritzsche@gsi.de](mailto:s.fritzsche@gsi.de) and nennen Sie mir 2-3 mögliche Themen, damit wir die verschiedenen Interessen koordinieren können.

Ich wünsche Ihnen zunächst eine erholsame Semesterpause und viele Grüße,  
Stephan Fritzsche

## 2 Anforderungen, Bedingungen und Vorgaben zum Seminar

Da eine erfolgreiche Teilnahme am Seminar ein Selbststudium von ca. 80-90 Stunden einschließt, bitte ich Sie, genug Zeit für die Auseinandersetzung mit dem Thema und die Ausarbeitung des Seminars einzuplanen. Insgesamt bedeuten die 4 *credit points* für dieses Seminar einen (offiziellen) Gesamtaufwand von ca. 120 Arbeitsstunden, die in das Einlesen in das Thema, Nachdenken, evtl. Testrechnungen für einfache Modellsysteme, Konzeption und Ausarbeitung des Vortrages, nochmaliges Nachdenken, etc. fließen sollen. Um spätere (evtl.) Enttäuschungen auf beiden Seiten zu vermeiden, sollen hier bereits vorab einige – mir persönlich wichtige – Anforderungen und grundsätzliche Vereinbarungen genannt werden, wobei es bekanntlich *keine Regeln ohne Ausnahmen* gibt.

- **Wir wollen ein lebendiges Seminar mit vielen Fragen und reichlich Diskussion gestalten — auch Ihrerseits bitte.** Weniger ist dabei mitunter mehr, insbesondere wenn es um konkretes Verständnis geht; d.h. es geht uns weniger um Vollständigkeit und Detailtreue als um die Darstellung grundlegender Zusammenhänge.
- Die Seminarvorträge von etwa 45-50 Minuten zzgl. Diskussion sollen von allen Teilnehmern (nicht nur dem Sprecher) besucht werden; ein einmaliges Fehlen ist hierbei jedem freigestellt.
- Die Vortexstrahlen haben in den vergangenen Jahren Forscher aus recht verschiedenen Gebieten angezogen: der theoretischen und Quantenoptik, Mikroskopie sowie der Quanteninformati- on. Dieses Zusammenkommen verschiedener Fachgebiete wirkt sich auch auf die verwendeten “Fachtermini” aus, die teilweise sehr spezifisch aus anderen Gebieten übernommen, teilwei- se aber auch sehr kompakt verwendet wird, und ohne dass bei der Verwendung der Begriffe die Voraussetzungen klar beschrieben werde. Obwohl kompakte Sprech- und Schreibweisen natürlich viele Vorzüge für die Entwicklung eines Gebietes haben, müssen wir als Physiker daran interessiert sein, alle Notation eindeutig “verstehen” und uns anhand von Beispielen verdeutlichen zu können. **Beispiele (und Beispielrechnungen) sind daher für ein physikalisches Verständnis unumgänglich und sollen sowohl im Vortrag als auch in der schriftlichen Ausar- beitung genügend Raum bekommen.**
- Zur Darstellung vieler physikalischer Sachverhalte stehen heute sehr leistungsfähige Computer- Algebra Systeme (CAS) zur Verfügung. Solche CAs sollen – soweit angebracht – in die Dar- stellung und Ausarbeitung einbezogen werden. Vorkenntnisse zur Programmierung von MAPLE und MATHEMATICA erleichtern deren Einsatz, sind jedoch keine Grundvoraussetzung für die Teilnahme am Seminar.
- Die vorgeschlagenen Themen betreffen i.d.R. *Einzelvorträge* (und Ausarbeitungen); falls Sie jedoch gut funktionierende Zweiergruppen haben, sind die meisten dieser Themen ergiebig genug, um sie in zwei Vorträge und *eine* gemeinsame Ausarbeitung aufteilen zu können. Dies hat den Vorteil für Sie, dass Sie sich im Vorfeld untereinander besprechen und gemeinsam diskutieren können, setzt allerdings voraus, dass Sie das Gesamtthema gründlich analysieren und verstehen sollen. Diese Option soll Ihnen kein “Verstecken” hinter anderen Mitstreitern bieten.
- **Bei dem Seminarvorträgen lege ich Wert darauf, daß die vorgetragenen Zusammenhänge or- dentlich und mit möglichst einfachen Worten und Bildern erklärt werden.** In früheren Semi-

naren habe ich dabei die *Erfahrung* gemacht, daß es oftmals günstiger ist, wenn konkrete Fragenstellungen formuliert und diese konkret beantwortet werden.

- Bitte formulieren Sie daher bei der Vorbereitung des Vortrages und für die Ausarbeitung 10–20 konkrete Fragen, die Sie diskutieren und beantworten wollen; diese Fragen sollen den drei Abschnitten: (i) Grundlagen, (ii) Kernthema und (iii) Ausblick zugeordnet sein, wobei dem Kernthema hinreichend Platz (50–70 %) einzuräumen ist. — Dieser “Frage-Antwort” Aufbau des Vortrages soll (hoffentlich) verhindern, daß Zusammenhänge nur oberflächlich behandelt werden, ohne daß Sie sich die nötige Sprache angeeignet haben, um diese Zusammenhänge auch tatsächlich erklären zu können. Diese Fragen sowie die zugehörigen Antworten sollen im Vortrag klar gekennzeichnet sein und die Fragen auf (1-2) separaten Folien nochmals zugefaßt werden.
- Die Vorbereitung der Vorträge soll wünschenswerterweise durch zwei (Vor-) Besprechungen begleitet werden, wobei ich durch Mitarbeiter meiner Arbeitsgruppe unterstützt werde. Bei der zweiten Besprechung soll dabei ein (fast) fertiger Vortrag vorliegen und diese Besprechung etwa eine Woche vor dem eigentlichen Vortragstermin stattfinden. — Nicht ausreichend vorbereitete Vorträge werden verschoben (bzw. als Fehlleistung eingestuft), wobei Verschiebungen allgemein nur innerhalb des Semesters berücksichtigt werden können.
- In der schriftlichen Ausarbeitung sollen auch ausreichend Beispiele vorkommen, die den Fließtext bzw. den Formalismus nochmals unabhängig verdeutlichen und klar abgehoben sein sollen. Zu dieser schriftlichen Ausarbeitung ist ebenfalls eine Besprechung geplant, in der die (detaillierte) Gliederung und die dargestellten Beispiele erläutert werden sollen. Für die Ausarbeitung wird eine (Latex-) Vorlage zur Verfügung gestellt, die auch bei .doc Dateien ähnlich verwendet werden soll.
- Das Seminar soll auf dem kürzlich erschienenen Sammelband *The Angular Momentum of Light* von D. L. Andrews und M. Babiker (Hrg.) aufbauen; nutzen Sie die darin enthaltenen Artikel und das Web, um ein erstes Gefühl für ein passendes Thema zu finden. Einige der Themen setzen gewisse mathematische Vorkenntnisse (und entsprechend auch eine gewisse Freude daran) stärker voraus als andere.
- Die nachfolgende Liste (Abschnitt 3) nennt die möglichen Themen, die in der Vorbesprechung im April den Sprechern zugeordnet werden. Da die Themen aufeinander aufbauen, sollte die vereinbarte Reihenfolge weitgehend eingehalten werden. Wählen Sie 2-3 mögliche Themen für sich, so daß wir im April dann zügig zu einer Einigung kommen zu können.
- Interessenten an diesem Seminar bitte ich, mir eine Email ([s.fritzsche@gsi.de](mailto:s.fritzsche@gsi.de)) vor Anfang April d.J. zu senden, in der Sie gerne auf evtl. Wünsche und Vorkenntnisse kurz hinweisen können. Aufgrund des relativ hohen Betreuungsaufwandes des Seminar wollen wir uns auf ca. 10-12 Teilnehmer beschränken, um dem Einzelnen genügend Aufmerksamkeit bieten zu können.

### 3 Themen zum Seminar

Die nachfolgenden Themen lehnen sich an den Sammelband *The Angular Momentum of Light* von D. L. Andrews und M. Babiker (Hrg.) an und sind daher auf Englisch formuliert; wir können uns zu Beginn des Seminar auf die konkrete Sprache beim Vortrag und der Ausarbeitung einigen. Ein *Ansichtsexemplar* zur Vorauswahl geeigneter Themen und Fragestellungen steht bei uns in der Arbeitsgruppe (Helmholtzweg 4, Raum D202) zur Verfügung. Für die benötigten Kapitel können ggf. auch Kopien einzelner Kapitel zur Verfügung gestellt werden.

- Light beams carrying orbital angular momentum
- An experimentalist's introduction to orbital angular momentum for quantum optic
- Measurement of light's orbital angular momentum
- Vortex transformations and vortex dynamics in optical fields
- Vector beams in free space
- Optical beams with orbital angular momentum
- Ray optics, wave optics and quantum mechanics (Dieses Kapitel eignet sich für 2-3 Vorträge.)
- Quantum formulation of angle and orbital angular momentum (Ebenfalls für 2 Vorträge geeignet.)
- Quantum entanglement of orbital angular momentum (Für 2 Vorträge geeignet.)
- Dynamical rotational frequency shift
- Theory of atoms in twisted light (Für 2-3 Vorträge.)
- Spin-orbit interactions of light in isotropic media (Ebenfalls 2 Vorträge dazu möglich.)
- Trapping of charged particles by Bessel beams
- Efficient generation of optical twistors using helico-conical beams