

SEMINAR ZUR RELATIVITÄTSTHEORIE IM WS18/19

Prof. Dr. Joachim Lohkamp, Matthias Kemper

Anspruch der Vortragsthemen auf einer Skala von \star bis $\star\star\star$. Vorträge mit Φ oder \mathcal{M} sind physikalisch bzw. mathematisch anspruchsvoller und diejenigen mit \mathcal{V} auf Computervisualisierungen bezogen.

Teil I: Spezielle Relativitätstheorie (SRT)

1 LORENTZTRANSFORMATIONEN UND RELATIVITÄT ^{$\Phi\star$}

Allein aus der Annahme, dass die Lichtgeschwindigkeit in allen Bezugssystemen dieselbe ist (und ein paar Symmetrieanahmen), lässt sich die Form der Koordinatenwechsel zwischen bewegten Bezugssystemen (*Lorentztransformationen*) herleiten. Physikalische Konsequenzen wie Relativität der Gleichzeitigkeit, Längenkontraktion oder Zeildilatation scheinen unserer Intuition zu widersprechen. *Literatur:* [Cam16, 4.2.1–4.2.6], [Mei16, 1.2, 1.3, 3.1 und 3.3]

2 MINKOWSKIRAUM UND LORENTZGRUPPE ^{$\mathcal{M}\star\star$} (FELIX HILDEBRANDT)

Die Lorentztransformation aus dem ersten Vortrag sieht bei geeigneter Parametrisierung fast wie eine Drehmatrix aus und tatsächlich bilden beliebige Lorentztransformationen die Matrixgruppe, die eine bestimmte nichtdegenerierte symmetrische Bilinearform erhält. Der \mathbb{R}^4 mit dieser Bilinearform wird auch *Minkowskiraum* genannt. In diesem Raum kann man Vektoren und Tensoren betrachten. *Literatur:* [Mei16, 3.2,4], [BMW16, 5], [Car04, 1.2–1.6], vgl. auch [Mei16, 2]

3 RELATIVISTISCHE MECHANIK ^{$\Phi\star\star$}

Hier werden Begriffe der klassischen Mechanik wie Beschleunigung, Kraft oder Impuls als Vektoren im vierdimensionalen Raum umformuliert. Als Ergebnis erhält man die berühmte Formel $E = mc^2$. *Literatur:* [Mei16, 5], [BMW16, 6.1–6.6]

4 PARADOXA DER SRT ^{$\star\star$} (ISABEL LAMMERS)

Hier sollen einige (scheinbare) Paradoxa der speziellen Relativitätstheorie wie das Zwillingenparadoxon erläutert werden. Im Minkowski-Diagramm kann man sich u. a. leicht veranschaulichen, warum Reisen mit Überlichtgeschwindigkeit je nach Perspektive auch Zeitreisen sein können. *Literatur:* [BMW16, 4.4, 6.7], [Mei16, 3.5]

5 WIE SIEHT DIE SRT AUS? ^{$\star\star$}

Schnell bewegte Objekte erscheinen in einem ruhenden Bezugssystem kürzer – das heißt aber noch lange nicht, dass man sie auch verkürzt *sieht*. Was man wirklich sieht und in welcher Farbe (\rightarrow Dopplereffekt) ist Gegenstand dieses Vortrags. *Literatur:* [BMW16, 8], [BM15]

6 VISUALISIERUNGSTECHNIKEN IN DER SRT ^{$\mathcal{V}\star$}

Hier wird erläutert, wie man die im vorhergehenden Vortrag beschriebenen Effekte am Computer darstellen kann. *Literatur:* [BMW16, 9], [BM15]

7 IDEEN DER ALLGEMEINEN RELATIVITÄTSTHEORIE^{Φ*}

Die Newtonsche Gravitationstheorie lässt sich nicht mit der speziellen Relativitätstheorie vereinbaren, da sich dort die Gravitationskraft instantan (also mit Überlichtgeschwindigkeit) ausbreitet. Nimmt man die beobachtete *Äquivalenz von träger und schwerer Masse* ernst, kann die Raumzeit in Anwesenheit von Masse eigentlich nur *gekrümmt* sein. *Literatur*: [Mei16, 6.3, 7], [BMW16, 10], [Cam16, 4.5]

8 GEOMETRIE DER RAUMZEIT^{M***} (ROBIN REXEISEN)

Die Beschreibung gekrümmter Räume ist Inhalt der *Differentialgeometrie*. Folgende Begriffe sollen erläutert werden: Mannigfaltigkeiten, Tangentialvektoren, Tensoren, Metrik, kovariante Ableitung, Parallelverschiebung, Geodäten, Krümmungstensor. (Kleine) Teilchen bewegen sich auf Geodäten. *Literatur*: [Bae06] gibt einen guten Überblick, relevant sind Punkte 1–6 in der »Short Course Outline« bzw. 1–8 in der »Long Course Outline«. Zur Motivation ist [Cam16, 4.4] hilfreich, die wesentlichen Inhalte stehen in [Mei16, 8], [BMW16, 11] und (ausführlicher und mathematisch präziser) in [Car04, 2.1–2.5, 3.1–3.7]. [Cam16, 4.6.1–4.6.3] gibt weitere physikalische Motivation.

9 EINSTEINSCHES FELDGLEICHUNGEN** (PIA DILLMANN)

Nun wissen wir, wie Materie sich in einer gekrümmten Raumzeit verhält. Wie Materie die Krümmung der Raumzeit *hervorrufft*, beschreiben die Einsteinschen Feldgleichungen, die in diesem Vortrag eingeführt werden. *Literatur*: [Mei16, 10], [BMW16, 12.2], [Cam16, 4.6.4]. Außerdem [Bae06], ab Punkt 7 in der »Short Course Outline« bzw. ab 9 in der »Long Course Outline«. Sehr gut lesbar ist auch [BB06].

10 SCHWARZE LÖCHER** (GUNNAR BIRKE)

Die einfachsten analytischen Lösungen der Feldgleichungen beschreiben den leeren Raum außerhalb eines schwarzen Loches. Hier sollen ohne viele Rechnungen die Eigenschaften der Schwarzschild- und der Kerr-Lösung vorgestellt werden. *Literatur*: [Mei16, 12.3, 15], [BMW16, 13.2–13.3, 14], [Cam16, 7 bis 7.1.2; 7.3.1–7.3.3]

11 FLRW-METRIKEN** (JULIA BRYSCHE)

Während Schwarzschild- und Kerr-Metriken gut den materiefreien Außenraum von Sternen, Galaxien oder schwarzen Löchern beschreiben, sind die Friedmann-Lemaître-Robertson-Walker-Metriken eine Familie von Modellen für ein homogen mit Materie gefülltes Universum. *Literatur*: [BMW16, 24, 25]

12 TESTS DER ART^{Φ**} (FATIH SENGÜL)

Eine revolutionäre physikalische Theorie kann sich nur durchsetzen, wenn sie beobachtbare Konsequenzen hat. Für den Fall der ART sollen einige solcher Folgerungen wie die Periheldrehung des Merkur oder die Lichtablenkung im Gravitationsfeld der Sonne erläutert werden. *Literatur*: [Mei16, 13], [Cam16, 4.7]

13 VISUALISIERUNGEN DER ART^{∨**}

Um ein ganzes Universum auf einem Blatt Papier darzustellen, sind *Penrose-Diagramme* nützlich. Aber manchmal möchte man es auch aus seinem Inneren betrachten, z. B.

aus der Nähe eines schwarzen Loches. Dabei helfen Computerprogramme. *Literatur*: [BMW16, 16 ohne 16.2.4], [BM15]

14 REALISTISCHE SCHWARZE LÖCHER^{v**} (JAKOB BALLMEIER)

Ein realistisches schwarzes Loch rotiert typischerweise und wahrscheinlich stürzt auch gerade Materie hinein, die in Form einer *Akkretionsscheibe* sichtbar ist. So ein schwarzes Loch spielt im Film *Interstellar* eine wichtige Rolle und die Umsetzung der Visualisierung ist weitgehend physikalisch korrekt und in einem Artikel gut verständlich dokumentiert. *Literatur*: [JvTFT15], [BMW16, 16.2.4]

Literatur

- [Bae06] J. BAEZ, The General Relativity Tutorial, 2006. <http://math.ucr.edu/home/baez/gr/gr.html>.
- [BB06] J. BAEZ und E. BUNN, The Meaning of Einstein's Equation, 2006. <http://math.ucr.edu/home/baez/einstein/einstein.html>.
- [BM15] S. BOBLEST und T. MÜLLER, Webseite zum Buch *Spezielle und allgemeine Relativitätstheorie*, 2015. <http://go.visus.uni-stuttgart.de/relastro>.
- [BMW16] S. BOBLEST, T. MÜLLER und G. WUNNER, *Spezielle und allgemeine Relativitätstheorie*, Springer Spektrum, 2016. doi:10.1007/978-3-662-47767-0.
- [Cam16] M. CAMENZIND, *Gravitation und Physik kompakter Objekte*, Springer Spektrum, 2016. doi:10.1007/978-3-662-47839-4.
- [Car04] S. M. CARROLL, *Spacetime and Geometry*, Addison Wesley, San Francisco, 2004.
- [JvTFT15] O. JAMES, E. VON TUNZELMANN, P. FRANKLIN und K. S. THORNE, Gravitational lensing by spinning black holes in astrophysics, and in the movie *Interstellar*, *Class. Quantum Grav.* **32** no. 6 (2015), 065001. doi:10.1088/0264-9381/32/6/065001.
- [Mei16] R. MEINEL, *Spezielle und allgemeine Relativitätstheorie für Bachelorstudenten*, Springer Spektrum, 2016. doi:10.1007/978-3-662-49856-9.

→ www.uni-muenster.de/geoana/lehre/semrt1819.html