

# Elektrodynamik I (136.015)

Daniel Grumiller, Andreas Ipp, Kirill Boguslavski

Institut für Theoretische Physik (FH, 10. Stock)  
TU Wien

[http://www.itp.tuwien.ac.at/index.php/Elektrodynamik\\_I](http://www.itp.tuwien.ac.at/index.php/Elektrodynamik_I)

Sommersemester 2020



grumil@hep.itp.tuwien.ac.at

$$\nabla \cdot \mathbf{D} = \rho$$

$$\nabla \cdot \mathbf{B} = 0$$

$$\nabla \times \mathbf{E} = -\frac{\partial \mathbf{B}}{\partial t}$$

$$\nabla \times \mathbf{H} = \frac{\partial \mathbf{D}}{\partial t} + \mathbf{J}$$

# Übersicht

## Administratives

Modus und Personen

Termine und Daten

Beurteilung und Notenschlüssel

Erste Tutoriumsbeispiele

Stoff der Vorlesung Elektrodynamik I

## Geschichte der speziellen Relativitätstheorie

## Literatur

# Übersicht

## Administratives

Modus und Personen

Termine und Daten

Beurteilung und Notenschlüssel

Erste Tutoriumsbeispiele

Stoff der Vorlesung Elektrodynamik I

Geschichte der speziellen Relativitätstheorie

Literatur

## Modus und Personen

VU, besteht aus Vorlesung und Übung

- ▶ Vorlesung (3h, Daniel Grumiller)
- ▶ Übungsplenum (1h, Kirill Boguslavski)
- ▶ Tutorien mit Anwesenheitspflicht (1h, Andreas Ipp + TutorInnen)

## Modus und Personen

VU, besteht aus Vorlesung und Übung

- ▶ Vorlesung (3h, Daniel Grumiller)
- ▶ Übungsplenum (1h, Kirill Boguslavski)
- ▶ Tutorien mit Anwesenheitspflicht (1h, Andreas Ipp + TutorInnen)

Anmeldung zu Tutorien: <http://tiss.tuwien.ac.at>

Anmeldung möglich bis Fr, 6.3., 16:00

Link zur Vorlesungsseite:

[http://www.itp.tuwien.ac.at/index.php/Elektrodynamik\\_I](http://www.itp.tuwien.ac.at/index.php/Elektrodynamik_I)

Voraussetzungen: Methoden der Theoretischen Physik

# Termine und Daten

Stundenplan (gültig ab 2.3.2020):

- ▶ Mo, 9:00-10:00, FH HS 6, Vorlesung (Daniel Grumiller)
- ▶ Di, 13:00-14:00, FH HS 6, Übungsplenum (Kirill Boguslavski)
- ▶ Mi, 9:00-10:00, FH HS 6, Ersatztermin in Ausnahmefällen z.B. zum Einarbeiten der Donnerstagfeiertage
- ▶ Do, 10:00-10:15, FH HS 6, Zeit für Fragen (Daniel Grumiller)
- ▶ Do, 10:15-11:45, FH HS 6, Vorlesung (Daniel Grumiller)
- ▶ Fr, 11:00-12:00 (eine Gruppe: 12:00-13:00), Tutorien (Andreas Ipp + TutorInnen); Ort hängt von Gruppe ab

# Termine und Daten

Stundenplan (gültig ab 2.3.2020):

- ▶ Mo, 9:00-10:00, FH HS 6, Vorlesung (Daniel Grumiller)
- ▶ Di, 13:00-14:00, FH HS 6, Übungsplenum (Kirill Boguslavski)
- ▶ Mi, 9:00-10:00, FH HS 6, Ersatztermin in Ausnahmefällen z.B. zum Einarbeiten der Donnerstagfeiertage
- ▶ Do, 10:00-10:15, FH HS 6, Zeit für Fragen (Daniel Grumiller)
- ▶ Do, 10:15-11:45, FH HS 6, Vorlesung (Daniel Grumiller)
- ▶ Fr, 11:00-12:00 (eine Gruppe: 12:00-13:00), Tutorien (Andreas Ipp + TutorInnen); Ort hängt von Gruppe ab

Testtermine:

- ▶ Erster Test: Fr, 8. Mai, 14:00-16:00
- ▶ Zweiter Test: Fr, 26. Juni, 14:00-16:00
- ▶ (Nachtest: Oktober)

Keine Unterlagen oder elektronischen Geräte bei Tests



# Beurteilung und Notenschlüssel

Beiträge zur Note:

- 20% Theorieteil Test I
- 20% Rechenbeispiele Test I
- 20% Theorieteil Test II
- 20% Rechenbeispiele Test II
- 20% Tutorienbeispiele

Notenschlüssel:

- 1 [88,100]
- 2 [75,88)
- 3 [62,75)
- 4 [50,62)
- 5 [0,50) oder nicht erfüllt

Nachtest kann schlechteren/wegen Krankheit versäumten Test ersetzen

Für positive Note müssen folgende Kriterien erfüllt sein:

- ▶ Mindestens 50% der Gesamtpunkte (siehe Notenschlüssel)
- ▶ Mindestens 20% auf jeden der beiden Tests
- ▶ Mindestens 50% der Tutorienbeispiele angekreuzt (2 Streichresultate)

Berufstätige: eigener Modus; e-mail an [ipp@hep.itp.tuwien.ac.at](mailto:ipp@hep.itp.tuwien.ac.at)  
bis spätestens 6.3. (mit kurzer Darstellung beruflicher Situation)

## Erste Tutoriumsbeispiele

- ▶ Kreuzerlliste per TUWEL
- ▶ Jeweils bis spätestens Freitag, 9:00 (strikt)
- ▶ Tutorien beginnen nächste Woche
- ▶ Erste Beispiele für nächsten Freitag (13.3.) bekanntgegeben am 6.3.
- ▶ Aktuelle Beispiele:  
`https://tuwel.tuwien.ac.at/course/view.php?idnumber=136015-2020S`

## Erste Tutoriumsbeispiele

- ▶ Kreuzerlliste per TUWEL
- ▶ Jeweils bis spätestens Freitag, 9:00 (strikt)
- ▶ Tutorien beginnen nächste Woche
- ▶ Erste Beispiele für nächsten Freitag (13.3.) bekanntgegeben am 6.3.
- ▶ Aktuelle Beispiele:  
`https://tuwel.tuwien.ac.at/course/view.php?idnumber=136015-2020S`

Administrative Fragen?

# Stoff dieser Vorlesung

Leitmotiv:

Symmetrien + Vereinheitlichung

# Stoff dieser Vorlesung

Leitmotiv:

Symmetrien + Vereinheitlichung

- ▶ Spezielle Relativitätstheorie
- ▶ Relativistische Kinematik
- ▶ Maxwellgleichungen
- ▶ Elektrostatik
- ▶ Multipolentwicklung
- ▶ Elektrische Felder in Materie
- ▶ Magnetismus und elektrische Ströme
- ▶ Elektromagnetische Wellen
- ▶ Optik

# Übersicht

## Administratives

Modus und Personen

Termine und Daten

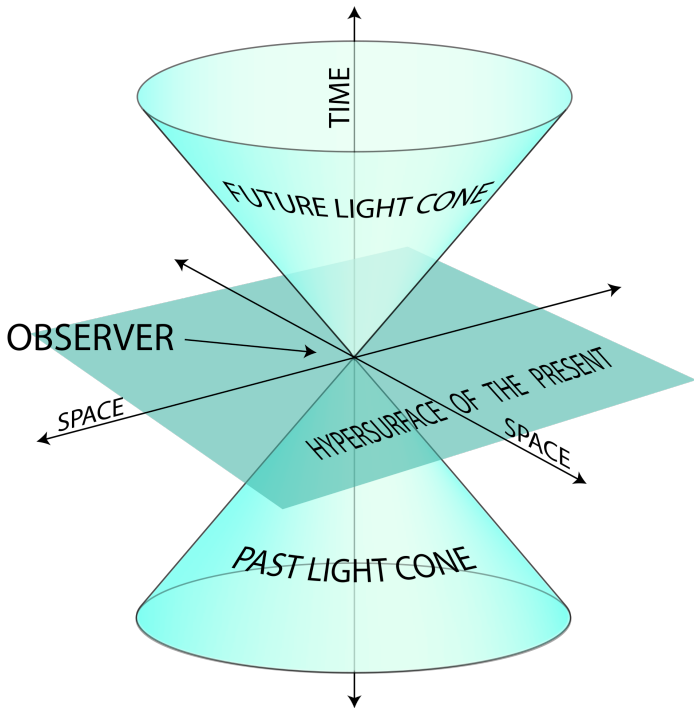
Beurteilung und Notenschlüssel

Erste Tutoriumsbeispiele

Stoff der Vorlesung Elektrodynamik I

## Geschichte der speziellen Relativitätstheorie

## Literatur



## Geschichte der speziellen Relativitätstheorie

Vorgeschichte und “klassische” Periode:

–550 Pythagoras  $t^2 + x^2 = s^2$

–300 Euklid *Elemente*



## Geschichte der speziellen Relativitätstheorie

Vorgeschichte und “klassische” Periode:

–550 Pythagoras  $t^2 + x^2 = s^2$

–300 Euklid *Elemente*

1687 Isaac Newton *Philosophiae naturalis principia mathematica*, absolute Zeit

## Geschichte der speziellen Relativitätstheorie

Vorgeschichte und “klassische” Periode:

–550 Pythagoras  $t^2 + x^2 = s^2$

–300 Euklid *Elemente*

1687 Isaac Newton *Philosophiae naturalis principia mathematica*, absolute Zeit

1873 James Maxwell, Maxwellgleichungen (erste relativistisch invarianten Gleichungen, Vereinheitlichung von Elektrizitätslehre, Magnetismus, Optik, Wellenphänomene)

## Geschichte der speziellen Relativitätstheorie

Vorgeschichte und “klassische” Periode:

- 550 Pythagoras  $t^2 + x^2 = s^2$
- 300 Euklid *Elemente*
- 1687 Isaac Newton *Philosophiae naturalis principia mathematica*, absolute Zeit
- 1873 James Maxwell, Maxwellgleichungen (erste relativistisch invarianten Gleichungen, Vereinheitlichung von Elektrizitätslehre, Magnetismus, Optik, Wellenphänomene)
- 1887 Michelson–Morley Experiment
- 1887 Woldemar Voigt findet Lorentztransformationen (1899 Hendrik Lorentz)

## Geschichte der speziellen Relativitätstheorie

Vorgeschichte und “klassische” Periode:

- 550 Pythagoras  $t^2 + x^2 = s^2$
- 300 Euklid *Elemente*
- 1687 Isaac Newton *Philosophiae naturalis principia mathematica*, absolute Zeit
- 1873 James Maxwell, Maxwellgleichungen (erste relativistisch invarianten Gleichungen, Vereinheitlichung von Elektrizitätslehre, Magnetismus, Optik, Wellenphänomene)
- 1887 Michelson–Morley Experiment
- 1887 Woldemar Voigt findet Lorentztransformationen (1899 Hendrik Lorentz)
- 1905 Albert Einstein’s “annus mirabilis”: *Zur Elektrodynamik bewegter Körper*, Spezielle Relativitätstheorie,  $E = mc^2$

## Geschichte der speziellen Relativitätstheorie

Vorgeschichte und “klassische” Periode:

- 550 Pythagoras  $t^2 + x^2 = s^2$
- 300 Euklid *Elemente*
- 1687 Isaac Newton *Philosophiae naturalis principia mathematica*, absolute Zeit
- 1873 James Maxwell, Maxwellgleichungen (erste relativistisch invarianten Gleichungen, Vereinheitlichung von Elektrizitätslehre, Magnetismus, Optik, Wellenphänomene)
- 1887 Michelson–Morley Experiment
- 1887 Woldemar Voigt findet Lorentztransformationen (1899 Hendrik Lorentz)
- 1905 Albert Einstein’s “annus mirabilis”: *Zur Elektrodynamik bewegter Körper*, Spezielle Relativitätstheorie,  $E = mc^2$
- 1908 Hermann Minkowski *Space and Time lectures*, Minkowski-Raumzeit

## Geschichte der speziellen Relativitätstheorie

Vorgeschichte und “klassische” Periode:

- 550 Pythagoras  $t^2 + x^2 = s^2$
- 300 Euklid *Elemente*
- 1687 Isaac Newton *Philosophiae naturalis principia mathematica*, absolute Zeit
- 1873 James Maxwell, Maxwellgleichungen (erste relativistisch invarianten Gleichungen, Vereinheitlichung von Elektrizitätslehre, Magnetismus, Optik, Wellenphänomene)
- 1887 Michelson–Morley Experiment
- 1887 Woldemar Voigt findet Lorentztransformationen (1899 Hendrik Lorentz)
- 1905 Albert Einstein’s “annus mirabilis”: *Zur Elektrodynamik bewegter Körper*, Spezielle Relativitätstheorie,  $E = mc^2$
- 1908 Hermann Minkowski *Space and Time lectures*, Minkowski-Raumzeit
- 1915 Einsteingravitation “Allgemeine Relativitätstheorie”, Einstein–Hilbert Wirkung, gekrümmte Raumzeit

## Geschichte der speziellen Relativitätstheorie

Neuzeit:

- 1928 Diracgleichung (relativistische Quantenmechanik für Fermionen), Vorhersage von Antimaterie
- 1932 Carl Anderson, Entdeckung des Positrons (Antiteilchen des Elektrons)

## Geschichte der speziellen Relativitätstheorie

Neuzeit:

- 1928 Diracgleichung (relativistische Quantenmechanik für Fermionen), Vorhersage von Antimaterie
- 1932 Carl Anderson, Entdeckung des Positrons (Antiteilchen des Elektrons)
- 1946 Tomonaga, Schwinger, Feynman, Dyson: Quantenelektrodynamik (QED, Vereinheitlichung von Relativitätstheorie, Quantenmechanik und Maxwellscher Feldtheorie)



## Geschichte der speziellen Relativitätstheorie

Neuzeit:

- 1928 Diracgleichung (relativistische Quantenmechanik für Fermionen), Vorhersage von Antimaterie
- 1932 Carl Anderson, Entdeckung des Positrons (Antiteilchen des Elektrons)
- 1946 Tomonaga, Schwinger, Feynman, Dyson: Quantenelektrodynamik (QED, Vereinheitlichung von Relativitätstheorie, Quantenmechanik und Maxwellscher Feldtheorie)
- 1967 Glashow, Salam, Weinberg: Vereinheitlichung zu elektroschwacher Eichtheorie (QED plus schwache Wechselwirkung plus Higgs)

## Geschichte der speziellen Relativitätstheorie

Neuzeit:

- 1928 Diracgleichung (relativistische Quantenmechanik für Fermionen), Vorhersage von Antimaterie
- 1932 Carl Anderson, Entdeckung des Positrons (Antiteilchen des Elektrons)
- 1946 Tomonaga, Schwinger, Feynman, Dyson: Quantenelektrodynamik (QED, Vereinheitlichung von Relativitätstheorie, Quantenmechanik und Maxwellscher Feldtheorie)
- 1967 Glashow, Salam, Weinberg: Vereinheitlichung zu elektroschwacher Eichtheorie (QED plus schwache Wechselwirkung plus Higgs)
- 1973 Harald Fritzsch und Murray Gell-Mann: Quantenchromodynamik (Verallgemeinerung der QED zur Eichtheorie starken Wechselwirkung)
- 1973 Politzer, Gross und Wilczek: asymptotische Freiheit in QCD
- 1974 Name "Standardmodell" geprägt (John Iliopoulos?)

## Geschichte der speziellen Relativitätstheorie

Neuzeit:

- 1928 Diracgleichung (relativistische Quantenmechanik für Fermionen), Vorhersage von Antimaterie
- 1932 Carl Anderson, Entdeckung des Positrons (Antiteilchen des Elektrons)
- 1946 Tomonaga, Schwinger, Feynman, Dyson: Quantenelektrodynamik (QED, Vereinheitlichung von Relativitätstheorie, Quantenmechanik und Maxwellscher Feldtheorie)
- 1967 Glashow, Salam, Weinberg: Vereinheitlichung zu elektroschwacher Eichtheorie (QED plus schwache Wechselwirkung plus Higgs)
- 1973 Harald Fritzsch und Murray Gell-Mann: Quantenchromodynamik (Verallgemeinerung der QED zur Eichtheorie starken Wechselwirkung)
- 1973 Politzer, Gross und Wilczek: asymptotische Freiheit in QCD
- 1974 Name "Standardmodell" geprägt (John Iliopoulos?)
- 1974 Julius Wess und Bruno Zumino: Supersymmetrie (Erweiterung der Lorentzsymmetrie)
- 1976 Ferrara, Freedman und Nieuwenhuizen: Supergravitation (Vereinheitlichung von Supersymmetrie mit Gravitation)

## Geschichte der speziellen Relativitätstheorie

Moderne:

1984 Green, Schwarz und Witten: Superstrings (Vereinheitlichung von Quantenfeldtheorien mit Quantengravitation)

## Geschichte der speziellen Relativitätstheorie

Moderne:

1984 Green, Schwarz und Witten: Superstrings (Vereinheitlichung von Quantenfeldtheorien mit Quantengravitation)

2000 Präzisions-GPS für Zivilnutzer

## Geschichte der speziellen Relativitätstheorie

Moderne:

1984 Green, Schwarz und Witten: Superstrings (Vereinheitlichung von Quantenfeldtheorien mit Quantengravitation)

2000 Präzisions-GPS für Zivilnutzer

2008 gyromagnetischer Faktor des Elektrons (Experiment):

$$\frac{g_e^{\text{exp}}}{2} = 1.00115965218073 \pm 0.000000000000028$$

## Geschichte der speziellen Relativitätstheorie

Moderne:

1984 Green, Schwarz und Witten: Superstrings (Vereinheitlichung von Quantenfeldtheorien mit Quantengravitation)

2000 Präzisions-GPS für Zivilnutzer

2008 gyromagnetischer Faktor des Elektrons (Experiment):

$$\frac{g_e^{\text{exp}}}{2} = 1.00115965218073 \pm 0.000000000000028$$

2009 Fermi-LAT bestätigt Lorentz-Invarianz bis  $E > 3E_{\text{Planck}}$

## Geschichte der speziellen Relativitätstheorie

Moderne:

1984 Green, Schwarz und Witten: Superstrings (Vereinheitlichung von Quantenfeldtheorien mit Quantengravitation)

2000 Präzisions-GPS für Zivilnutzer

2008 gyromagnetischer Faktor des Elektrons (Experiment):

$$\frac{g_e^{\text{exp}}}{2} = 1.00115965218073 \pm 0.000000000000028$$

2009 Fermi-LAT bestätigt Lorentz-Invarianz bis  $E > 3E_{\text{Planck}}$

2012 gyromagnetischer Faktor des Elektrons (Theorie):

$$\frac{g_e^{\text{th}}}{2} = 1.00115965218178 \pm 0.000000000000077$$



## Geschichte der speziellen Relativitätstheorie

Moderne:

1984 Green, Schwarz und Witten: Superstrings (Vereinheitlichung von Quantenfeldtheorien mit Quantengravitation)

2000 Präzisions-GPS für Zivilnutzer

2008 gyromagnetischer Faktor des Elektrons (Experiment):

$$\frac{g_e^{\text{exp}}}{2} = 1.00115965218073 \pm 0.000000000000028$$

2009 Fermi-LAT bestätigt Lorentz-Invarianz bis  $E > 3E_{\text{Planck}}$

2012 gyromagnetischer Faktor des Elektrons (Theorie):

$$\frac{g_e^{\text{th}}}{2} = 1.00115965218178 \pm 0.000000000000077$$

2012 Entdeckung des Higgsteilchens am LHC am CERN (letzter Baustein des Standardmodells)

## Geschichte der speziellen Relativitätstheorie

Moderne:

1984 Green, Schwarz und Witten: Superstrings (Vereinheitlichung von Quantenfeldtheorien mit Quantengravitation)

2000 Präzisions-GPS für Zivilnutzer

2008 gyromagnetischer Faktor des Elektrons (Experiment):

$$\frac{g_e^{\text{exp}}}{2} = 1.00115965218073 \pm 0.000000000000028$$

2009 Fermi-LAT bestätigt Lorentz-Invarianz bis  $E > 3E_{\text{Planck}}$

2012 gyromagnetischer Faktor des Elektrons (Theorie):

$$\frac{g_e^{\text{th}}}{2} = 1.00115965218178 \pm 0.000000000000077$$

2012 Entdeckung des Higgsteilchens am LHC am CERN (letzter Baustein des Standardmodells)

2016 Entdeckung von Gravitationswellen durch LIGO (spin-2 Analogon von Lichtwellen; Ausbreitung mit Lichtgeschwindigkeit)

## Geschichte der speziellen Relativitätstheorie

Moderne:

1984 Green, Schwarz und Witten: Superstrings (Vereinheitlichung von Quantenfeldtheorien mit Quantengravitation)

2000 Präzisions-GPS für Zivilnutzer

2008 gyromagnetischer Faktor des Elektrons (Experiment):

$$\frac{g_e^{\text{exp}}}{2} = 1.00115965218073 \pm 0.000000000000028$$

2009 Fermi-LAT bestätigt Lorentz-Invarianz bis  $E > 3E_{\text{Planck}}$

2012 gyromagnetischer Faktor des Elektrons (Theorie):

$$\frac{g_e^{\text{th}}}{2} = 1.00115965218178 \pm 0.000000000000077$$

2012 Entdeckung des Higgsteilchens am LHC am CERN (letzter Baustein des Standardmodells)

2016 Entdeckung von Gravitationswellen durch LIGO (spin-2 Analogon von Lichtwellen; Ausbreitung mit Lichtgeschwindigkeit)

2019 Erstes Photo eines Schwarzen Loches (Event Horizon Telescope)

# Übersicht

## Administratives

Modus und Personen

Termine und Daten

Beurteilung und Notenschlüssel

Erste Tutoriumsbeispiele

Stoff der Vorlesung Elektrodynamik I

## Geschichte der speziellen Relativitätstheorie

## Literatur

Arendt

Heine

Luther

Kant

Seghers

Hegel

Gebrüder Grimm

Marx

Böll

Schiller

Lessing

Hesse

Fontane

# Literatur

## Vorlesungsrelevante Literatur:

- ▶ Testrelevanter Stoff definiert durch Vorlesungsvortrag und relevante Teile des Lehrbuchs “Theoretische Physik”, Bartelmann et al. (Springer 2015)
- ▶ Entlehnbar in der TU-Hauptbibliothek, e-book über SpringerLink

## Weiterführende Literatur:

- ▶ W. Greiner, *Klassische Elektrodynamik*, Verlag Harri Deutsch.
- ▶ J.D. Jackson, *Classical Electrodynamics*, John Wiley & Sons.
- ▶ H. Römer und M. Forger, *Elementare Feldtheorie. Elektrodynamik, Hydrodynamik, Spezielle Relativitätstheorie*, Wiley.

# Literatur

## Vorlesungsrelevante Literatur:

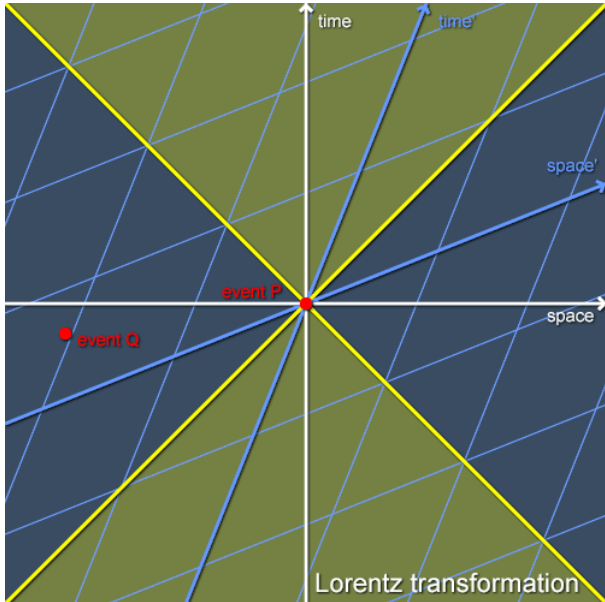
- ▶ Testrelevanter Stoff definiert durch Vorlesungsvortrag und relevante Teile des Lehrbuchs “Theoretische Physk”, Bartelmann et al. (Springer 2015)
- ▶ Entlehnbar in der TU-Hauptbibliothek, e-book über SpringerLink

## Weiterführende Literatur:

- ▶ W. Greiner, *Klassische Elektrodynamik*, Verlag Harri Deutsch.
- ▶ J.D. Jackson, *Classical Electrodynamics*, John Wiley & Sons.
- ▶ H. Römer und M. Forger, *Elementare Feldtheorie. Elektrodynamik, Hydrodynamik, Spezielle Relativitätstheorie*, Wiley.

## Zur Erinnerung, die nächsten Schritte (Mo/Di/Do/Fr):

- ▶ **Erste Vorlesung: Di, 3.3., 13:00** (nächste Vorlesung: Do, 5.3., 10:00)
- ▶ Anmeldung zu Tutorien: bis Fr, 6.3., 9:00
- ▶ Erste Übungsblätter: ab Fr, 6.3., 13:00
- ▶ Erstes Plenum: ab Di, 10.3., 13:00
- ▶ Erste Kreuzerl für Beispiele: bis Fr, 13.3., 9:00
- ▶ Erste Tutorien: Fr, 13.3., 11:00-12:00



Bis morgen!

[http://webphysics.davidson.edu/physlet\\_resources/special\\_relativity/default.html](http://webphysics.davidson.edu/physlet_resources/special_relativity/default.html)