Chapter 1: Introduction

1.1. Introduction

Note. On page 2, Wald comments:

> "The purpose of this book is to present the theory of general relativity. We will take a more modern, geometrical viewpoint than Einstein had... but the essential content of the theory is the one Einstein gave..."

Note. In 1905, Albert Einstein (March 14, 1879 to April 18, 1955) published (along with several other works) "On the Electrodynamics of Moving Bodies" ("Zur Elekrodynamik bewegter Körper") in *Annalen der Physik*, **17**, 891–921 (1905). This is available online at:

`http://hermes.ffn.ub.es/luisnavarro/nuevo_maletin/`

`Einstein_1905_relativity.pdf`

and

`https://www.fourmilab.ch/etexts/einstein/specrel/www/`

(accessed 6/16/2018). In this paper, he introduces special relativity. Special relativity is, simply put (probably *over-simply*) the study of flat spacetime. It shows that measurements of lengths and time are dependent on the relative motion of inertial frames of reference ("inertial frame" are moving relative to each other at a constant velocity; acceleration is not allowed; this is explained briefly in Section 1.2). Since special relativity does not address acceleration, it cannot deal with gravity. Because of this, special relativity is the relativity of an empty (or mass-free) universe.

Note. In 1916, Einstein published "The Foundation of the General Theory of Relativity" ("Die Grundlage der allgemeinen Relativitätstheorie") *Annalen der Physik*, **49**, 769–822 (1916). This is available online at:

`http://hermes.ffn.ub.es/luisnavarro/nuevo_maletin/`

`Einstein_GRelativity_1916.pdf` and

`https://en.wikisource.org/wiki/`

`The_Foundation_of_the_Generalised_Theory_of_Relativity`

(accessed 6/16/2018). This is the work that overturns classical Newtonian mechanics. It addresses acceleration and the presence of mass. The force due to gravity is described as a curvature of spacetime. In the original paper, Einstein explains the observed precession of the perihelion of Mercury's orbit (which Newton cannot explain), giving the work empirical support. He also predicted the bending of light in a strong gravitational field, which was measured in the famous 1919 eclipse expedition of Sir Arthur Eddington to Africa. This story is told in the BBC 2008 docu-drama *Einstein and Eddington*.

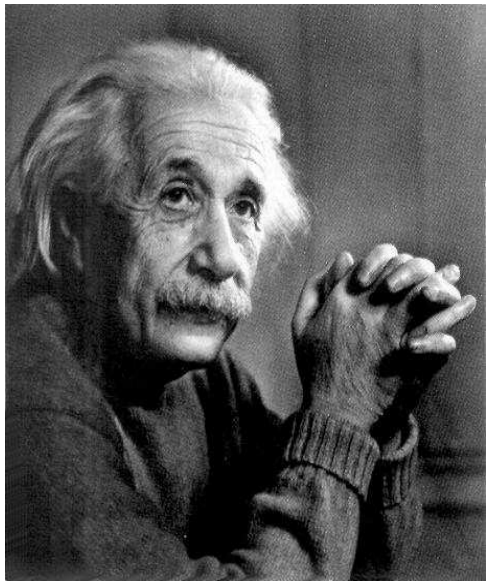
891

3. *Zur Elektrodynamik bewegter Körper;*
von A. Einstein.

Daß die Elektrodynamik Maxwells — wie dieselbe gegenwärtig aufgefaßt zu werden pflegt — in ihrer Anwendung auf bewegte Körper zu Asymmetrien führt, welche den Phänomenen nicht anzuhaften scheinen, ist bekannt. Man denke z. B. an die elektrodynamische Wechselwirkung zwischen einem Magneten und einem Leiter. Das beobachtbare Phänomen hängt hier nur ab von der Relativbewegung von Leiter und Magnet, während nach der üblichen Auffassung die beiden Fälle, daß der eine oder der andere dieser Körper der bewegte sei, streng voneinander zu trennen sind. Bewegt sich nämlich der Magnet und ruht der Leiter, so entsteht in der Umgebung des Magneten ein elektrisches Feld von gewissem Energiewerte, welches an den Orten, wo sich Teile des Leiters befinden, einen Strom erzeugt. Ruht aber der Magnet und bewegt sich der Leiter, so entsteht in der Umgebung des Magneten kein elektrisches Feld, dagegen im Leiter eine elektromotorische Kraft, welcher an sich keine Energie entspricht, die aber — Gleichheit der Relativbewegung bei den beiden ins Auge gefaßten Fällen vorausgesetzt — zu elektrischen Strömen von derselben Größe und demselben Verlaufe Veranlassung gibt, wie im ersten Falle die elektrischen Kräfte.

Beispiele ähnlicher Art, sowie die mißlungenen Versuche, eine Bewegung der Erde relativ zum „Lichtmedium" zu konstatieren, führen zu der Vermutung, daß dem Begriffe der absoluten Ruhe nicht nur in der Mechanik, sondern auch in der Elektrodynamik keine Eigenschaften der Erscheinungen entsprechen, sondern daß vielmehr für alle Koordinatensysteme, für welche die mechanischen Gleichungen gelten, auch die gleichen elektrodynamischen und optischen Gesetze gelten, wie dies für die Größen erster Ordnung bereits erwiesen ist. Wir wollen diese Vermutung (deren Inhalt im folgenden „Prinzip der Relativität" genannt werden wird) zur Voraussetzung erheben und außerdem die mit ihm nur scheinbar unverträgliche

Special relativity paper



Albert Einstein

1916. № 7.

ANNALEN DER PHYSIK.
VIERTE FOLGE. BAND 49.

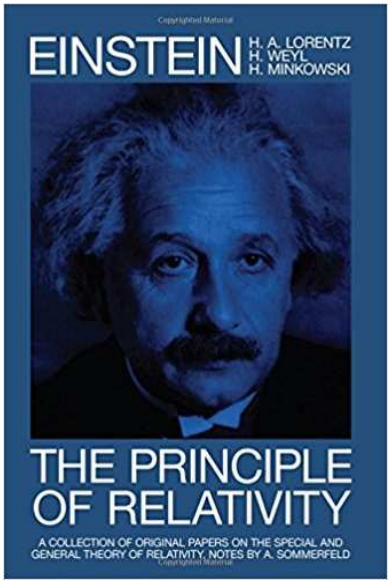
1. *Die Grundlage*
der allgemeinen Relativitätstheorie;
von A. Einstein.

Die im nachfolgenden dargelegte Theorie bildet die denkbar weitgehendste Verallgemeinerung der heute allgemein als „Relativitätstheorie" bezeichneten Theorie; die letztere nenne ich im folgenden zur Unterscheidung von der ersteren „spezielle Relativitätstheorie" und setze sie als bekannt voraus. Die Verallgemeinerung der Relativitätstheorie wurde sehr erleichtert durch die Gestalt, welche der speziellen Relativitätstheorie durch Minkowski gegeben wurde, welcher Mathematiker zuerst die formale Gleichwertigkeit der räumlichen Koordinaten und der Zeitkoordinate klar erkannte und für den Aufbau der Theorie nutzbar machte. Die für die allgemeine Relativitätstheorie nötigen mathematischen Hilfsmittel lagen fertig bereit in dem „absoluten Differentialkalkül", welcher auf den Forschungen von Gauss, Riemann und Christoffel über nichteuklidische Mannigfaltigkeiten ruht und von Ricci und Levi-Civita in ein System gebracht und bereits auf Probleme der theoretischen Physik angewendet wurde. Ich habe im Abschnitt B der vorliegenden Abhandlung alle für uns nötigen, bei dem Physiker nicht als bekannt vorauszusetzenden mathematischen Hilfsmittel in möglichst einfacher und durchsichtiger Weise entwickelt, so daß ein Studium mathematischer Literatur für das Verständnis der vorliegenden Abhandlung nicht erforderlich ist. Endlich sei an dieser Stelle dankbar meines Freundes, des Mathematikers Grossmann, gedacht, der mir durch seine Hilfe nicht nur das Studium der einschlägigen mathematischen Literatur ersparte, sondern mich auch beim Suchen nach den Feldgleichungen der Gravitation unterstützte.

Annalen der Physik. IV. Folge. 49. 50

General relativity paper

Note. Dover Publications has several foundational relativity papers in print in *The Principle of Relativity: A Collection of Original Papers on the Special and General Theory of Relativity.* In addition to the 1905 special relativity paper and the 1916 general relativity paper of Einstein, it also includes several other of Einstein's papers (such as the "$E = mc^2$" paper), H. A. Lorenz's paper on the Michelson-Morley experiment, and H. Minkowski's paper in which he translates Einstein's special relativity into a more rigorous mathematical expression of spacetime as a flat manifold. Einstein, in turn, uses Minkowski's work in his modeling of gravitation as a curvature of spacetime.



Revised: 6/16/2018