

# Sterne, Galaxien und das Universum

## Teil 10: Schwarze Löcher

Peter Hauschildt

yeti@hs.uni-hamburg.de

Hamburger Sternwarte  
Gojenbergsweg 112  
21029 Hamburg

18. April 2017

# Schwarzes Loch mit Begleiter



# Übersicht

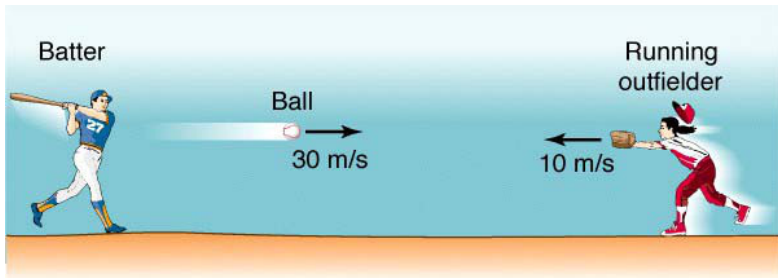
- ▶ ART
- ▶ Was ist ein Schwarzes Loch?
- ▶ Wie sucht man danach?

# ART

- ▶ Newton →
  - ▶ Raum gleichförmig und unveränderbar
  - ▶ Zeit läuft überall gleich (für jeden)
  - ▶ Gravitation etc. erfüllen den Raum
- ▶ → Äthertheorie

# ART

- ▶ Galileo →
- ▶ Geschwindigkeiten addieren sich

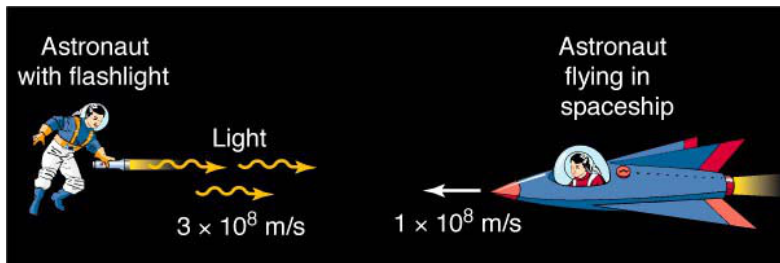


As seen by outfielder, ball is approaching her at  
 $(30 \text{ m/s}) + (10 \text{ m/s}) = 40 \text{ m/s}$

a

# ART

- ▶ Michelson Experiment → das gilt *nicht* für Licht!



Incorrect Newtonian description:

As seen by astronaut in spaceship, light is approaching her at  $(3 \times 10^8 \text{ m/s}) + (1 \times 10^8 \text{ m/s}) = 4 \times 10^8 \text{ m/s}$

Correct Einsteinian description:

As seen by astronaut in spaceship, light is approaching her at  $3 \times 10^8 \text{ m/s}$

b

# ART

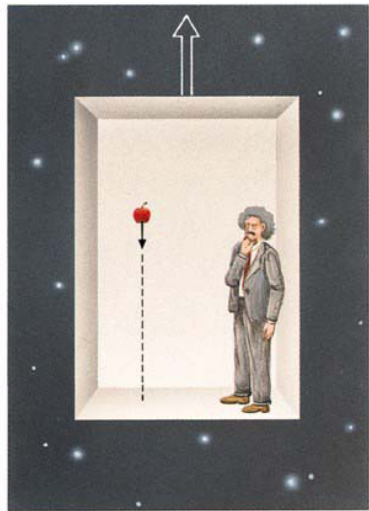
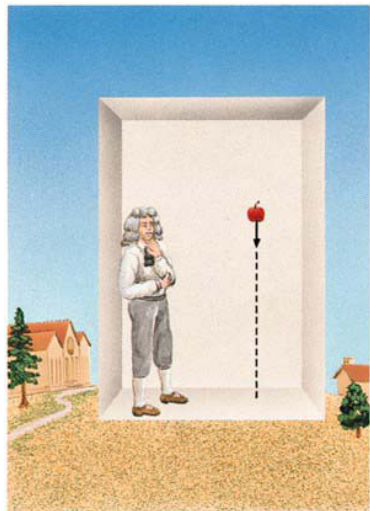
- ▶ das bedeutet: Newton's Modell falsch.
- ▶ Lorentz, Einstein (1905) →
- ▶ Spezielle Relativitätstheorie:
  - ▶ alle Naturgesetze identisch für gleichförmig bewegte Beobachter
  - ▶  $c = \text{const. für alle}$
- ▶ → *Lorentztransformation*
- ▶ → Längenkontraktion (schnelle Objekte 'kürzer')
- ▶ → Zeitdilatation (schnelle Uhren gehen langsamer)
- ▶ →  $E = mc^2$

# ART

- ▶ dieses Modell nur gültig für konstante Geschwindigkeiten
- ▶ Einstein (1915) →
- ▶ Erweiterung auf beschleunigte Bezugssysteme



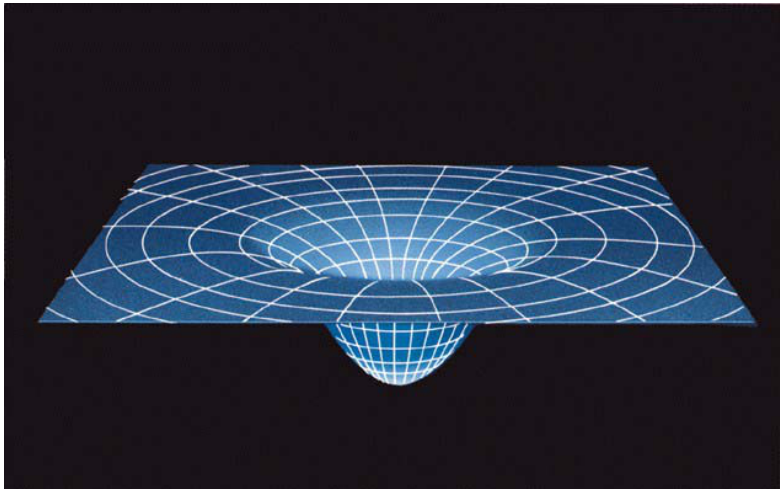
# ART



# ART

- ▶ → *Allgemeine Relativitätstheorie*
- ▶ *Äquivalenzprinzip:*
- ▶ Beschleunigungen nicht unterscheidbar von Gravitation
- ▶ führt zu einer geometrischen Beschreibung der *Raumzeit*
- ▶ Zeit und Raum sind ein Objekt, können nicht getrennt betrachtet werden
- ▶ Gravitation → Krümmung der Raumzeit

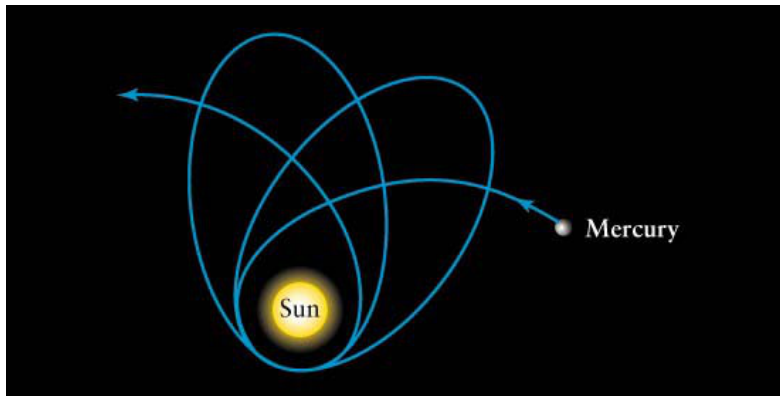
# ART



# ART

- ▶ Massen sagen der Raumzeit wie sie sich krümmen soll
- ▶ Raumzeit sagt den Massen wie sie sich bewegen sollen
- ▶ erster Test:
- ▶ Periheldrehung der Merkur Umlaufbahn
- ▶ 43 arcsec/100 yr ...
- ▶ nicht erklärbar mit Newton
- ▶ wird von ART korrekt berechenbar

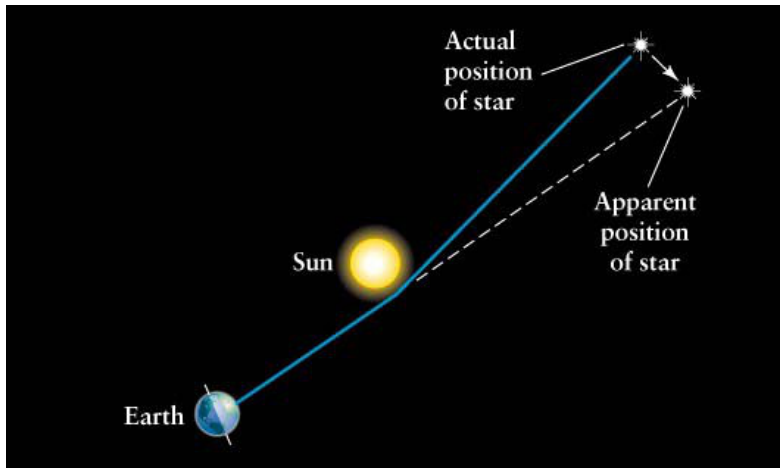
# Periheldrehung Merkur



# ART

- ▶ zweiter Test:
- ▶ Lichtablenkung durch Masse
- ▶ 1.75 arcsec am Rand der Sonne
- ▶ 1919 bei Sonnenfinsternis bestätigt

# Lichtablenkung durch Sonne

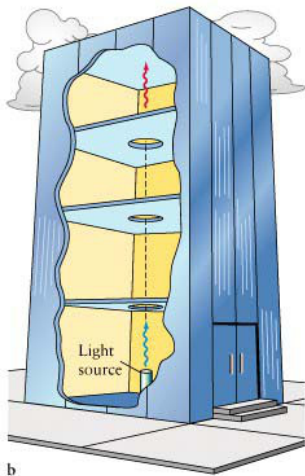
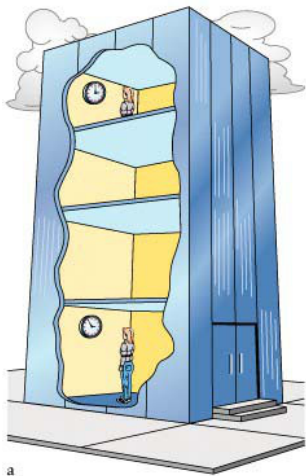


# ART

- ▶ dritter Test:
- ▶ Uhren laufen langsamer in hoher Raumzeitkrümmung
- ▶ Licht → kleine Uhren (Frequenzen)
- ▶ → Lichtfrequenzen verschieben sich nahe Massen
- ▶ das ist *kein* Doppler Effekt!



# Lichtablenkung durch Sonne



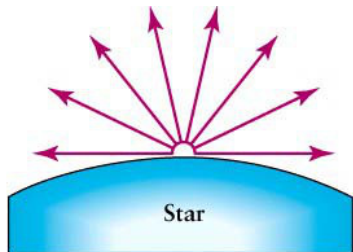
# ART

- ▶ weitere Konsequenzen:
- ▶ Änderungen der Gravitation breiten sich mit  $c$  aus
- ▶ → Planeten senden *Gravitationswellen* aus
- ▶ dadurch ändert sich die Bahn (Energieverlust)
- ▶ sehr kleiner Effekt (nicht relevant für Sonnensystem)
- ▶ Gravitationswellen sehr schwach
- ▶ → sehr schwer nachzuweisen

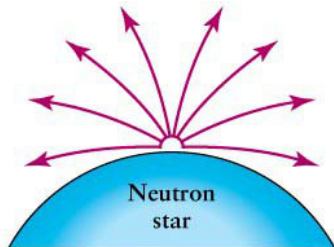
# Schwarze Löcher

- ▶ Effekt von Massen auf Licht
- ▶ → Konzept des *Schwarzen Loches*
- ▶ Masse größer als Grenzmasse eines Neutronensterns
- ▶ → Schwerkraft bewirkt totalen Kollaps
- ▶ Raum und Zeit extrem verzerrt
- ▶ → es wird ein Loch in die Raum-Zeit gestanzt

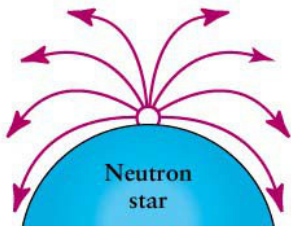
# Schwarze Löcher



a



b

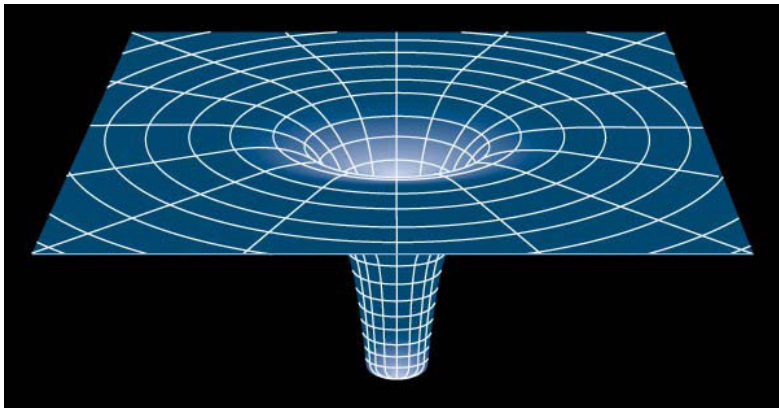


c



d

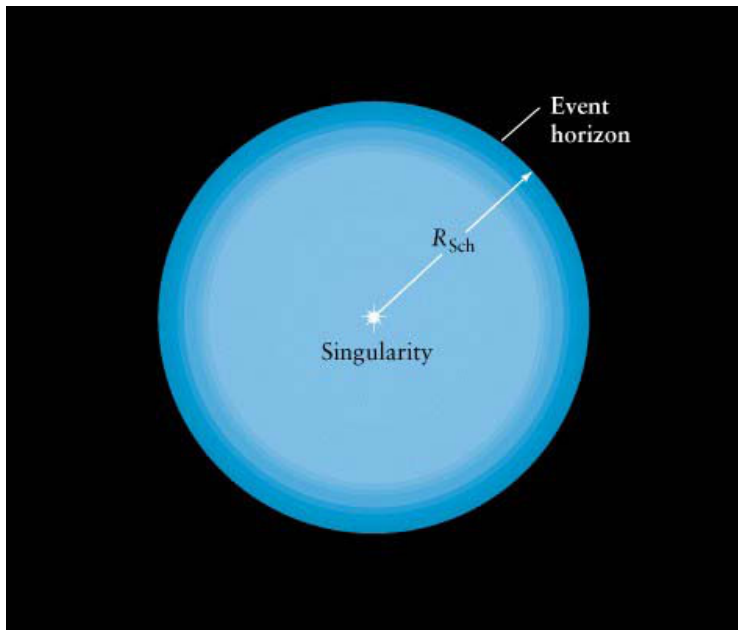
# Schwarze Löcher



# Schwarze Löcher

- ▶ innerhalb eines Schwarzes Loches sind Raum und Zeit vertauscht
- ▶ ein Beobachter könnte die Zeit beeinflussen aber nicht den Raum
- ▶ im Zentrum (der Singularität) verlieren Raum und Zeit ihre Identität
- ▶ die Singularität selber verhält sich unvorhersehbar
- ▶ das kann nicht beobachtet werden da aus dem Loch keine Information kommen kann

# Schwarze Löcher

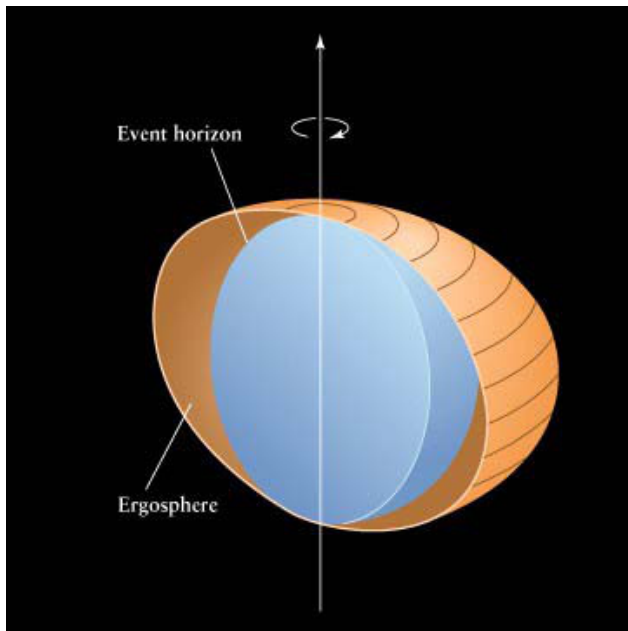


# Schwarze Löcher

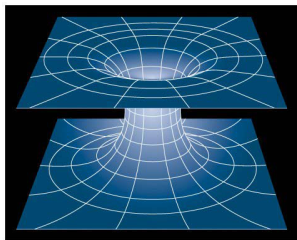
- ▶ ein Schwarzes Loch hat genau 3 Parameter:
  - ▶ Masse
  - ▶ elektrische Ladung
  - ▶ Drehimpuls
- ▶ Rotation → Raumzeit wird 'mitgeschleift'
- ▶ *frame dragging*
- ▶ *Ergoshäre*
- ▶ → keine stationären Objekte



# Schwarze Löcher

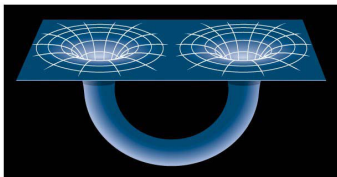


# Schwarze Löcher



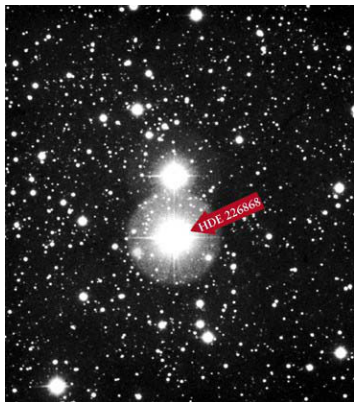
- ▶ 1930's:
- ▶ Einstein-Rosen Brücke:
- ▶ Schwarze Löcher können verbunden sein
- ▶ Verbindung zu einem anderen Universum

# Schwarze Löcher



- ▶ Alternativ:
  - ▶ Wurmloch
  - ▶ → Verbindung innerhalb des Universums
- 
- ▶ instabil: bricht zusammen wenn man es verwenden will
  - ▶ Stabilisierung → Anti-Gravitation ( $M < 0$ )
  - ▶ kann auch als Zeitmaschine funktionieren
  - ▶ → Verletzung der Kausalität . . .

# Detektion



- ▶ Cyg X-1: starke Röntgenquelle
- ▶ Position von B0 Überriesen,  $30 M_{\odot}$
- ▶ der ist dafür zu kalt (31000 K)
- ▶ spektroskopischer Doppelstern
- ▶ → Begleiter mit  $7 M_{\odot}$
- ▶ → stellares Schwarzes Loch?
- ▶ Röntgen durch Akkretion in das Loch!

# Cyg X-1

