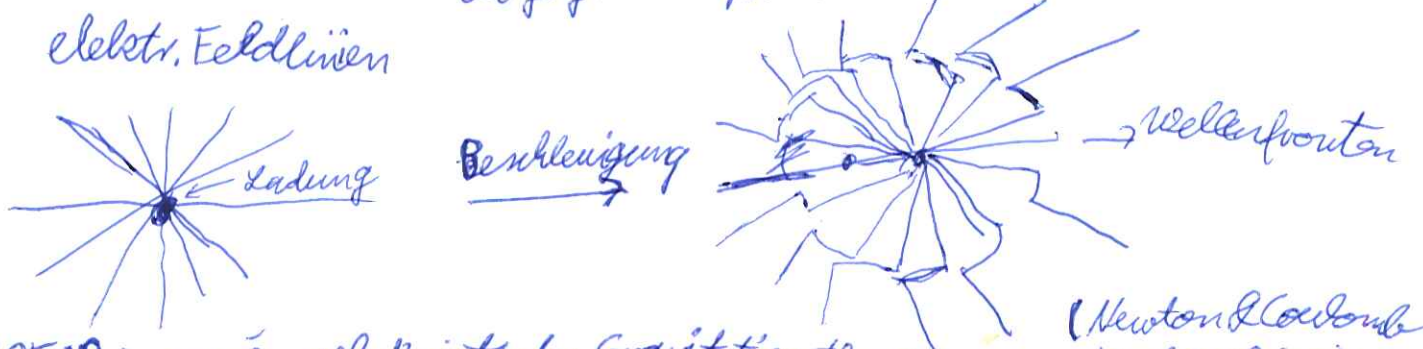


Überblick

Max Ausbreitungsgeschwindigkeit für Gravitation: Lichtgeschwindigkeit
 → Gravitationswellen (GW)

vgl. Elektrodynamik: Entdeckung elektromag. Wellen
 nach J.J. Thomson



1905: Poincaré relativistische Gravitationstheorie
 mit Gravitationswellen, GW

1915 Einsteins Gravitationstheorie (als Edwards Edyn, aber Vergleichs witzlich, Übung)
 Allgemeine Relativitätstheorie (ART)
 Erklärt "anomale" Perihelbewegung des Merkur

basiert auf dem Äquivalenzprinzip:
~~gesetz~~ Naturgesetze sind gleich im freien Fall und ohne
 Gravitation (lokal)

1916/18 ~~Gravitation~~ Einstein: GW in ART (lineare Näherung)
 Quadrupolformel (nicht messbar?)
 (BH und NS nicht bekannt)

Quadrupolformel
 Lichtkraft $L = \frac{\text{abgestrahlte Energie}}{\text{Zeitintervall}}$

$= \frac{1}{5} \langle \ddot{Q}^2 \rangle$ Zeitmittelung
 ↑ Quadrupol

vgl. Edyn: $L = \frac{2}{3} \ddot{d}^2$
 ↑ Dipol

$G = 1 = c$

Achtung: GW = gravitational waves
 Schwerkwellen = gravity waves (Fluiddynamik)

Probleme mit der Interpretation der GW in linearer Näherung:
 - ART ist nichtlinear, gibt es "exakte" GW?
 - ART ist Eichtheorie: allgemein Koordinatentransformations.
 ↳ sind GW messbar? Wie?
 (Gravitationsenergie nicht lokalisierenbar) (Fall lokal wegtransformierbar)

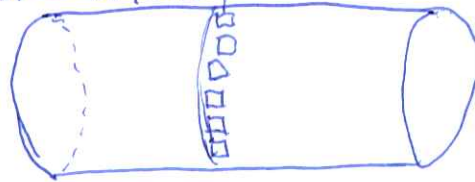
HU WS2016 V152

Geschichte der GW

- 1916/18 Einstein ~~(siehe oben)~~ (siehe oben)
- 1936/37 Einstein, Rosen: Zweifel an ^{ne} ~~Qualität~~ ^{Qualität} der GW im nichtlinearen Fall (siehe arxiv:gr-qc/19704002)
- 1950er: GW werden intensiv diskutiert
wichtige Arbeiten von Weber, Wheeler, Bondi, Robinson, Pirani, ...

- ca 1960: Weber baut erste Detektoren

Resonanzdetektoren → sehr ^{schmales} ~~schmalen~~ Frequenz. Quarzkristalle



- 1962: Untersuchungen zu Interferometerdetektoren beginnen → Breitband

- 1967/68: Weber behauptet

ca Detektion & Konsens, dass Webers Messung ~~Rechnung~~ ^{Rechnung} ~~analyse~~ ^{analyse} fehlerhaft ist. ~~fehlerhaft~~ ^{fehlerhaft}

- 1979 Nachweis der GW-Abstrahlung im Binärpulsar PSR 1513+16

durch Hulse und Taylor → Energieverlust
↳ Quadrupolformel bestätigt & Michelson-Interferometer

- 1970er-1980er: Debatte über Abstrahlung der GW
Ist die Quadrupolformel ~~so~~ richtig?

- 1993: Nobelpreis für Hulse und Taylor

- seit ca 2000: große Interferometer, 3-4 km

"erste Generation" an Gravitationswellenobservatorien
LIGO USA 2002-2010 (2 Detektoren 8)

Virgo Italien 2007-2011

(beachtenswert: GEO 600 in Deutschland, ^{seit 2005} Entwicklung der Technologie)

- seit 2015: zweite Generation

Upgrade ~~Upgrade~~ beider LIGO Detektoren

erste Detektion am 14.09.15 "The Event"

Binärsystem schwarzer Löcher, ca 30 M_{\odot} pro Loch
ca 3 M_{\odot} als GW abgestrahlt
Amplitude $\sim 10^{-21}$ bei 1 GJ Entfernung
(entspricht 10^{-7} bei ~~10~~ 1AE)

zweite Detektion am 26.12.15

Massen: 14 M_{\odot} und 8 M_{\odot}
schwächeres und längeres Signal

- Binäre schwarze Löcher, zeitieren und verschmelzen
- Gravitationswellenastronomie möglich (Detektor auf der Erde)
- ↳ neues "Fenster" zum Universum

Erwartungen an die GW-Astronomie

- Population schwarzer Löcher, Entwicklung zu supermassiven schwarzen Löchern
- Struktur der Neutronensterne, "Berge" auf Neutronensternen (HS)
- Erklärung der Gammablitz (Supernovae, Verschmelzen zweier Neutronensterne)
- Multi-messenger astronomy (auch Neutrinos)

Quellen:

- Binärsysteme mit schwarzen Löchern / Neutronensternen
- Berge auf Neutronensternen
- Supernovae
- Urknall
- Überraschungen

↑ momentan am interessantesten

↳ Es gab viele Überraschungen im elektromagnetischen Spektrum (µ Wellen Hintergrund, Pulsare, Blitz)

(dunkles Universum, ~~9~~ dunkle mat. = 9x sichtbar, nur 9% sichtbar)

Zukunft:

- mehr Detektoren der 2. Generation
 - 2016/17 Virgo
 - ca 2019 Kagra (Japan)
 - ? LIGO India
- Designempfindlichkeit von LIGO ^{wird} ca 2021 erreicht
- Pulsar Timing Array (PTA) 2020er (auch mit SKA)
- eLISA Weltraummission 2034
- "dritte Generation" an Observatorien? (10-30km)

