



Gravitationskonstante

$$G = 6,673 \times 10^{-11} \text{ m}^3 \text{ kg}^{-1} \text{ s}^{-2}$$

Michaela Hösl

Florian Soutschek

Wofür?

- Festlegung der Kopplungskonstanten in Stringtheorie
- Prüfen zusätzlicher Dimensionen auf kleinen Längenskalen
- Bestimmung von Zustandsgrößen von Sternen und Planeten



$$F_{\text{Gr}} = F_{\text{Zp}}$$

$$G \frac{m_p m_s}{R^2} = m_p \frac{v^2}{R}$$

$$G = \frac{(2\pi)^2 R^3}{m_s T^2} = \frac{(2\pi)^2}{m_s} k_{\text{Sonne}}$$

$$m_s = \frac{(2\pi)^2}{G} k_{\text{Sonne}}$$

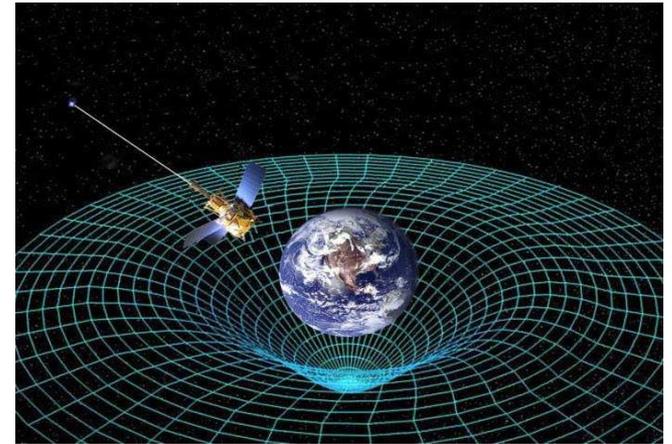
3. Kepplergesetz

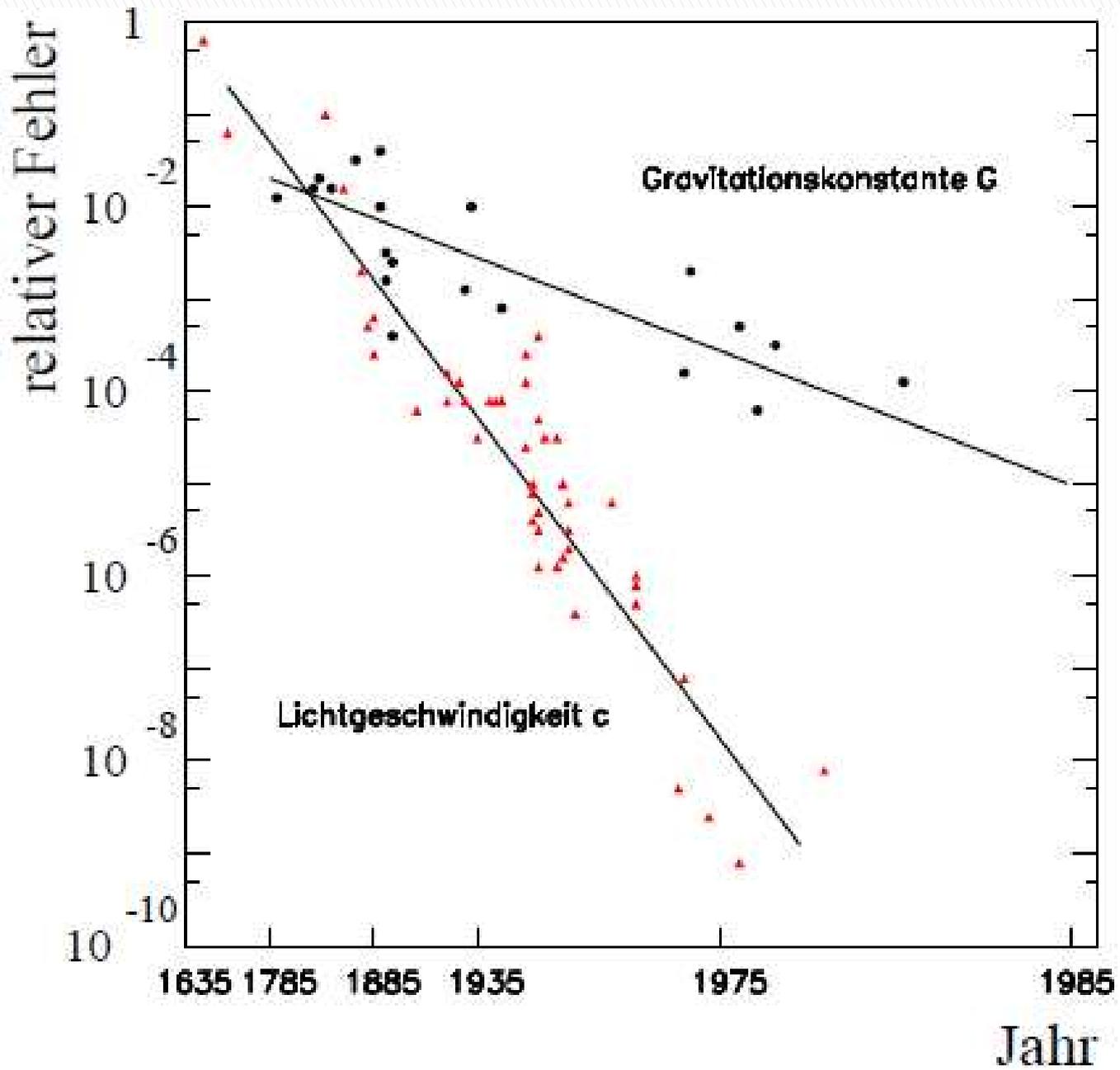
$$\frac{R^3}{T^2} = \text{const.} = k_{\text{Sonne}}$$

Sonderstatus

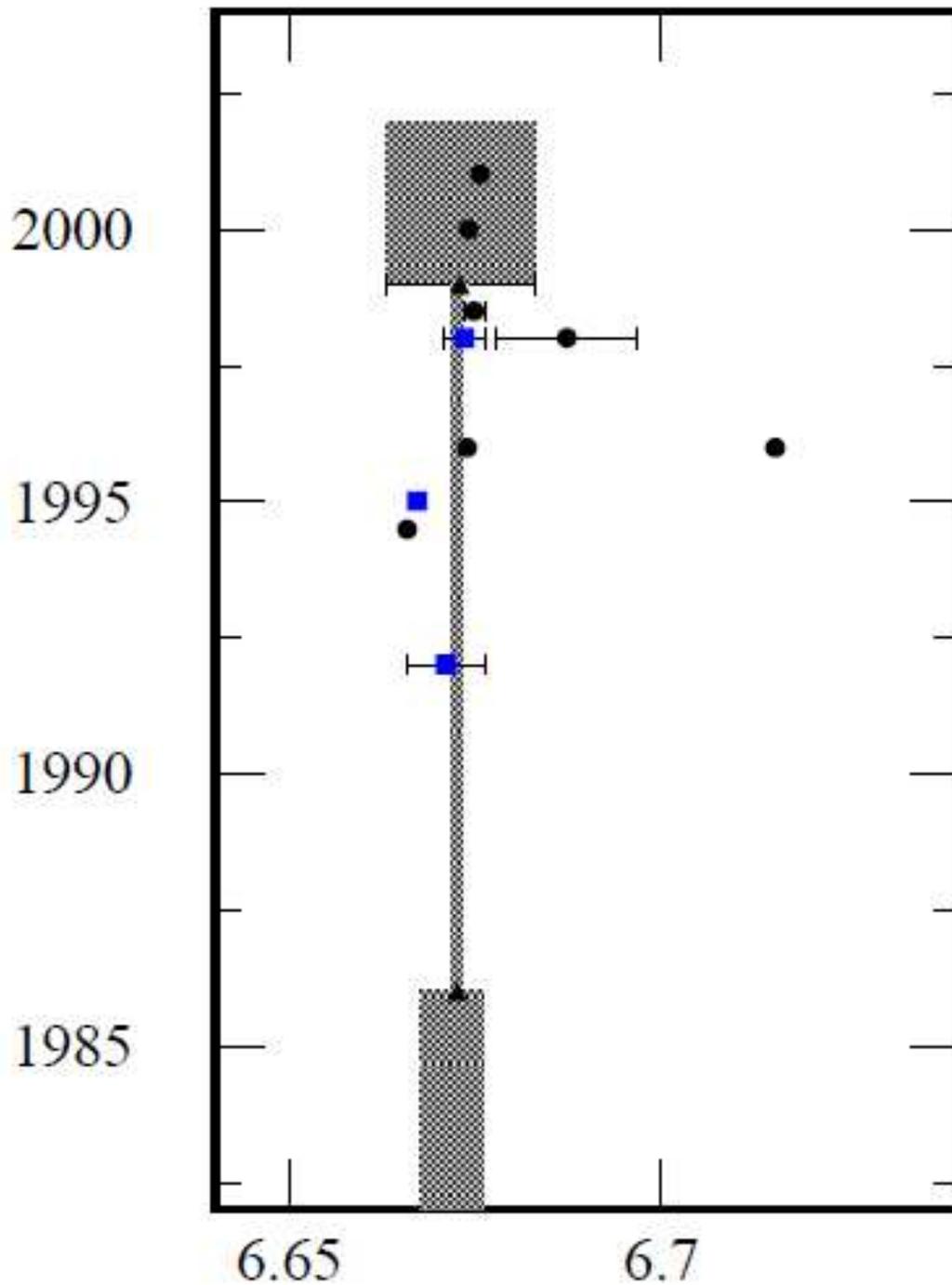
- Gravitation 
- Gravitationswirkung
als Verzerrung der Raumzeit
- zweitlängste Messhistorie;
große Unsicherheiten

GRAND
UNIFIED
THEORY





Jahr



98: CODATA
erhöht Unsicherheit:
1500ppm

95: Kuroda: $k(\omega)$

Historie

- Erste bekannte Fundamentalkraft
- Newtons Gravitationstheorie 1687
- Fragestellung zur mittleren Dichte der Erde (Royal Society) => Large Scale Experiments (LSE)

[...] gemäß der Menge der festen Materie welche sie (die Sonne und die Planeten) enthalten, und seine Wirkung sich bis in ungeheure Entfernungen in alle Richtungen ausbreitet, wobei diese immer wie das Quadrat der Entfernungen abnimmt.

Is. Newton

Experimentelle Verfahren

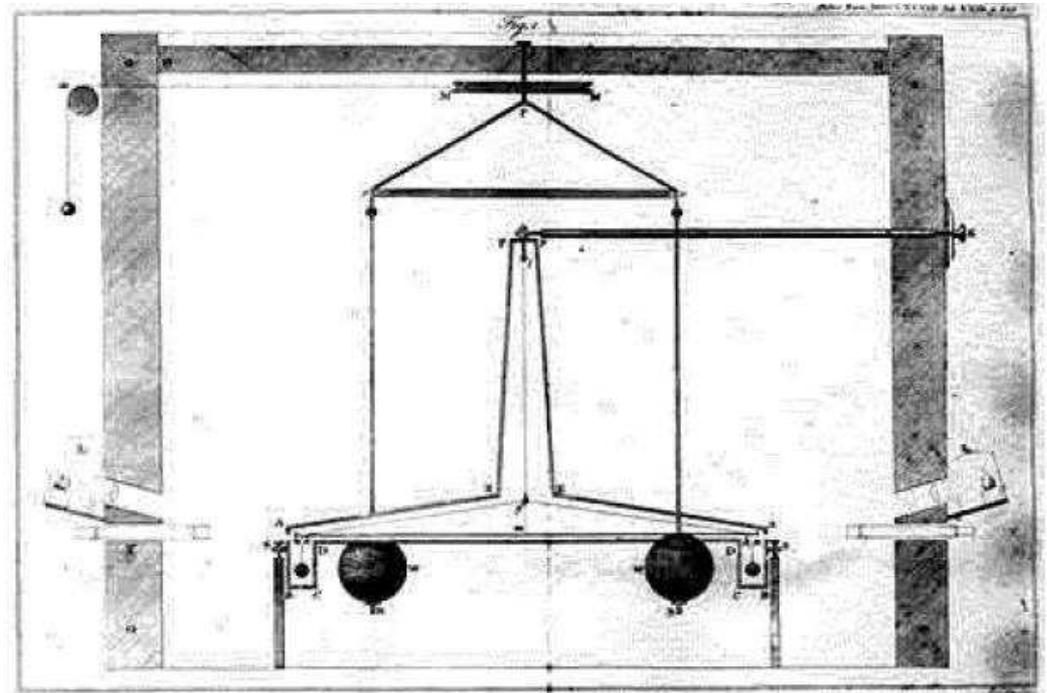
- LSE ab 1740 bzw. 1774
Abweichung: 17 %

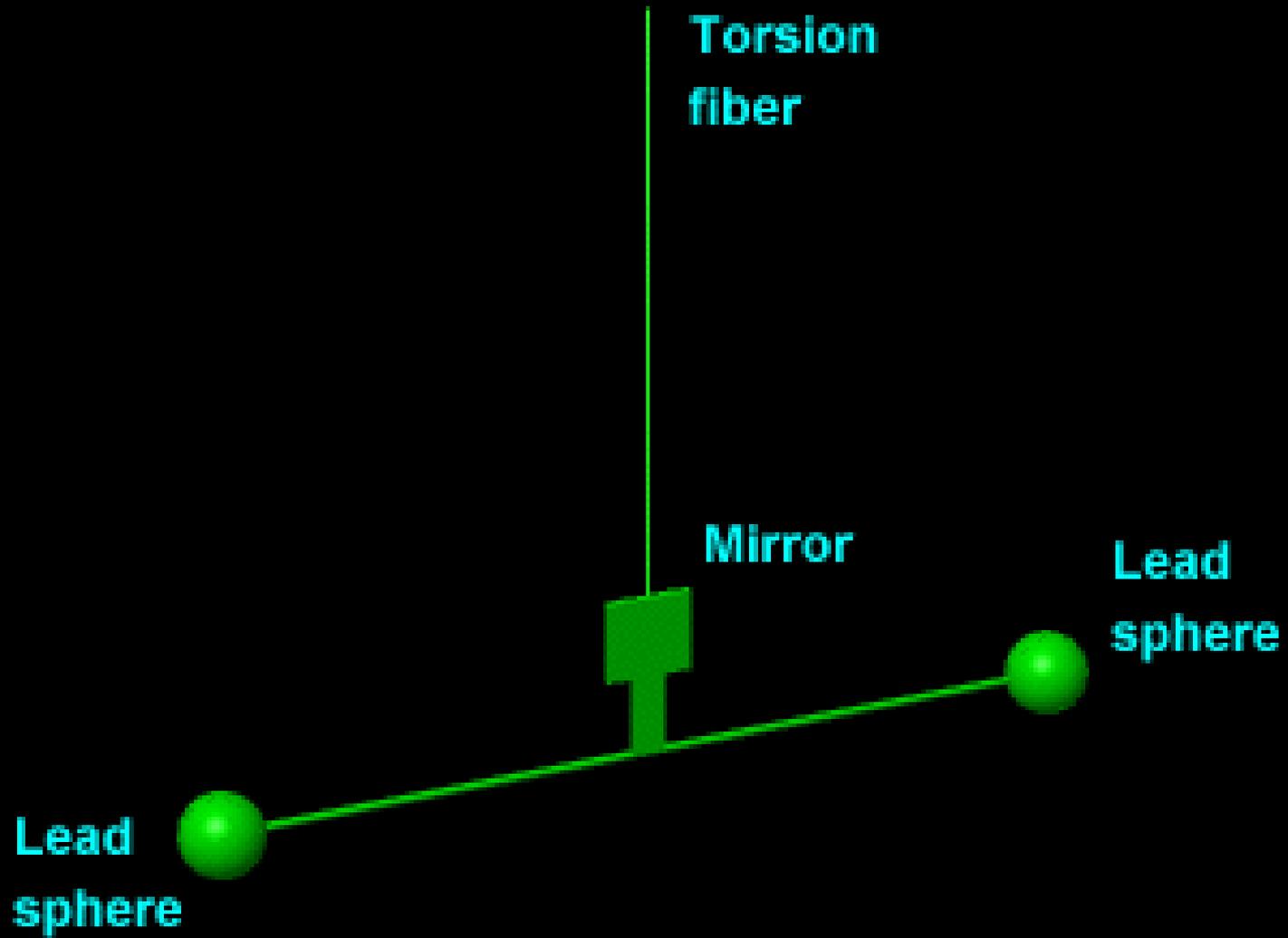


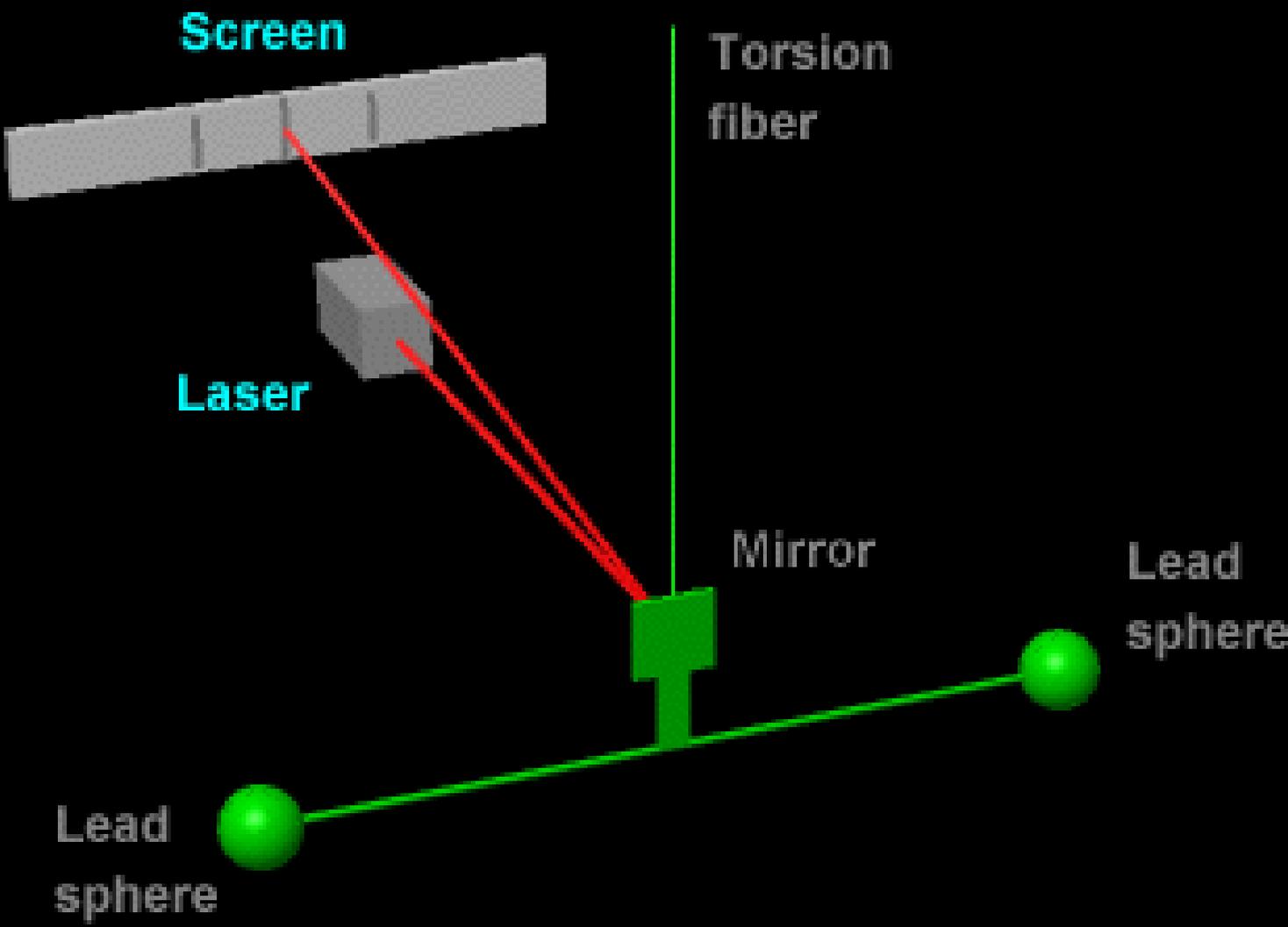
- 1797/98: Cavendish: Torsionswaage (statisch)
- Cavendish: Torsionswaage (dynamisch)
- modern: Fabry–Perot Gravimeter

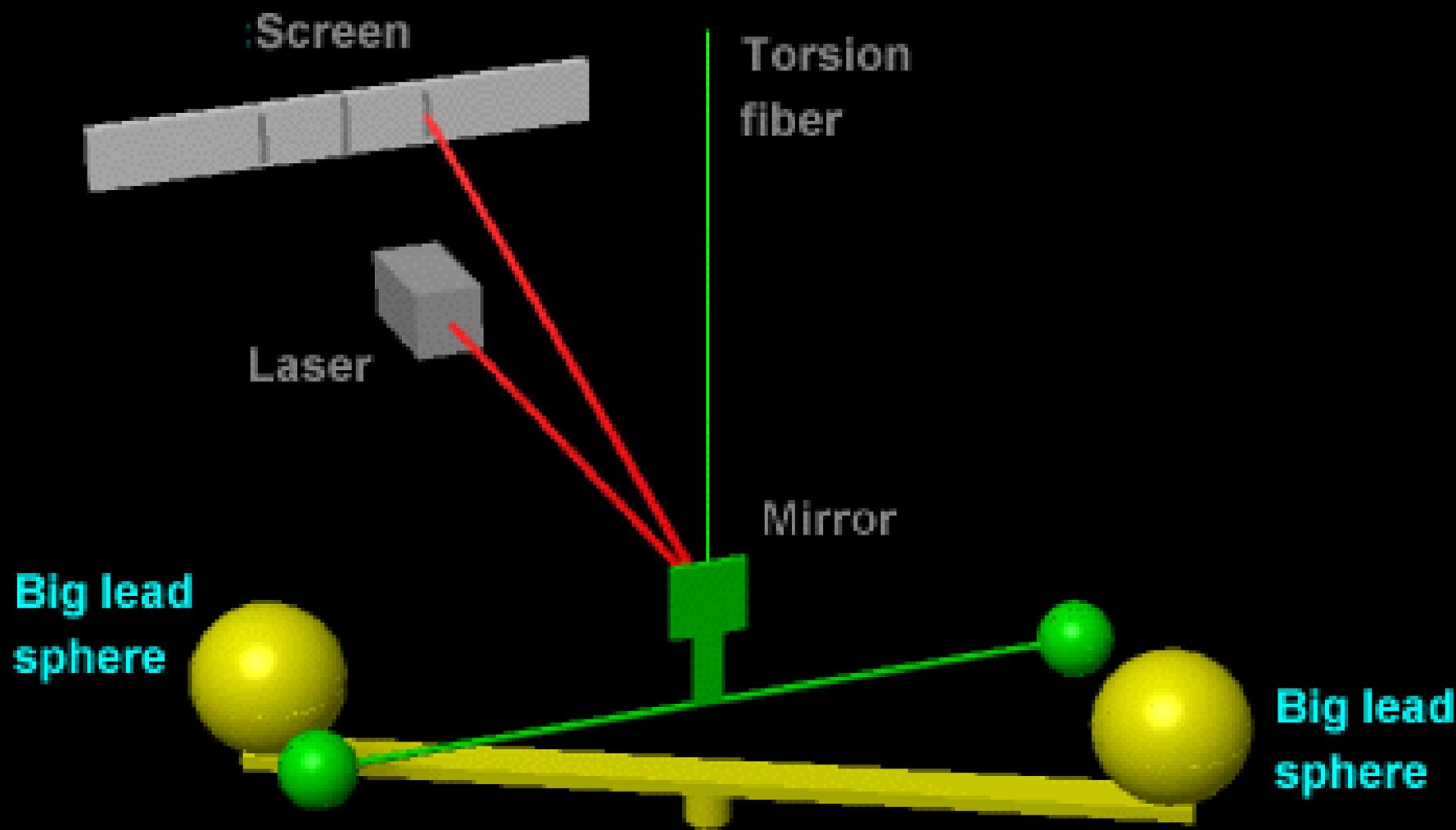
Cavendish Experiment

- Kräftegleichgewicht einer Torsionswaage









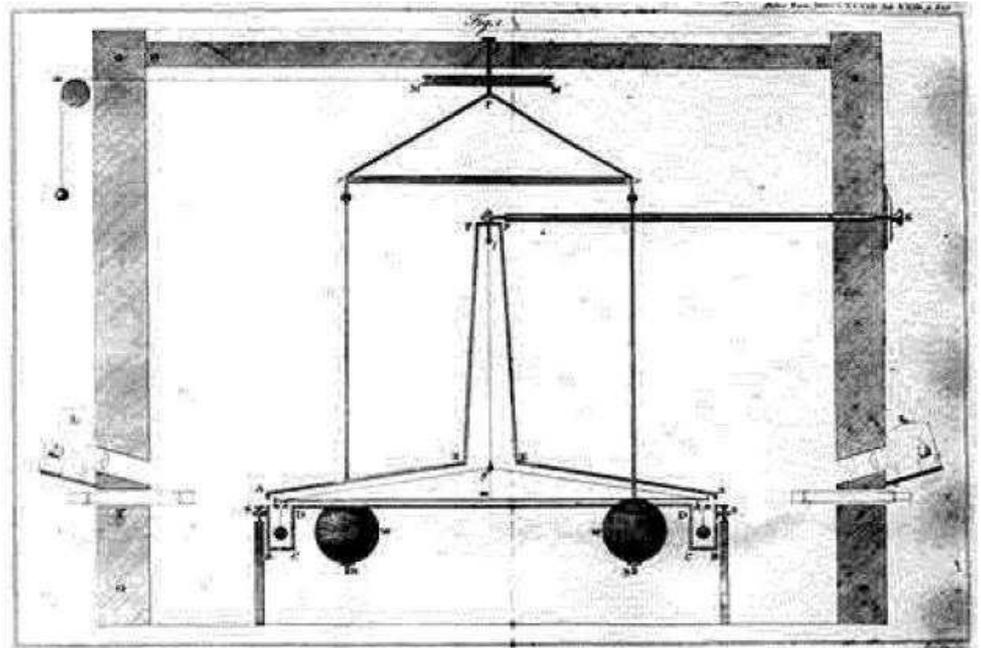
Cavendish Experiment

- Kräftegleichgewicht einer Torsionswaage

$$M_{\text{ex}} = M_t$$

$$G \frac{m_1 m_2}{r^2} l = D \varphi$$

$$G = \frac{D \varphi}{m_1 m_2 l} r^2$$



Cavendish Experiment

Bestimmung von D

$$\frac{D\varphi}{\frac{1}{2}} = F = 2m_1 a = m_1 l \ddot{\varphi}$$

$$\frac{2\pi}{T} = \omega = \sqrt{\frac{2D}{m_1 l^2}} \quad D = \left(\frac{2\pi}{T}\right)^2 \frac{m_1 l^2}{2}$$

Entwicklung neuer Varianten der Torsionswaage

Motivation: Unsicherheit des Literaturwertes (1500 ppm)

1. Gundlach, Merkwitz University of Washington (2000)

$$G = (6.674215 \pm 0.000\ 092) 10^{-11} \quad (1)$$

Unsicherheit: 14 ppm

2. Messungen mit Federband statt Federdraht

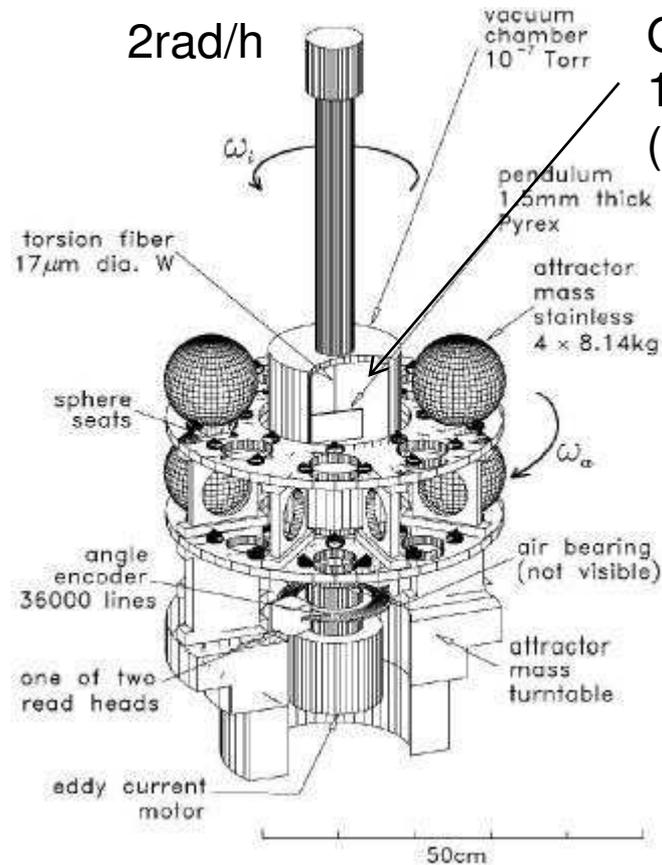
$$G = (6.67559 \pm 0.000\ 27) 10^{-11} \quad (2)$$

ca 200 ppm oberhalb von (1)

1. Gundlach, Merkwitz (2000)



Testmasse:
Gold bedampfte
Glasscheibe
1.5 mm dick
(2D)



Torsionswaage auf langsam drehendem Tisch

→ Feedback Mechanismus

1. Gundlach, Merkwitz University of Washington (2000)

Messung: Winkelbeschleunigung des Pendels →

Rückkopplung als Steuersignal für Beschleunigung des

Tisches → $(d\omega/dt)_{\text{Testmasse, gravitation}} = (d\omega/dt)_{\text{Montagetisch}}$

→ fast keine Verdrillung

→ Vermeidung systematischer Fehler

2. Messungen mit Federband statt Federdraht

T. Quinn (BIPM Paris):

- Cu-Be Torsionsstreifen statt Torsionsdraht
- Besonderheit: ermittelter Wert aus 2 Messreihen
(statisch + dynamisch)

Schweiz: Balkenwaage

Messung: Gewichts-differenz

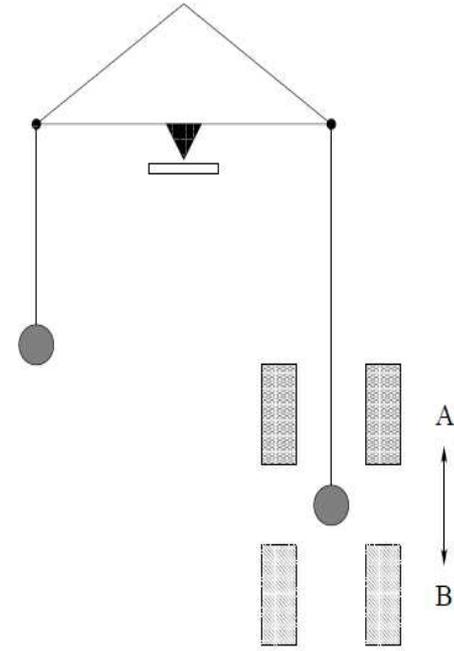
gravitatives Potential der Feldmassen

beeinflusst Gewicht der Testmassen

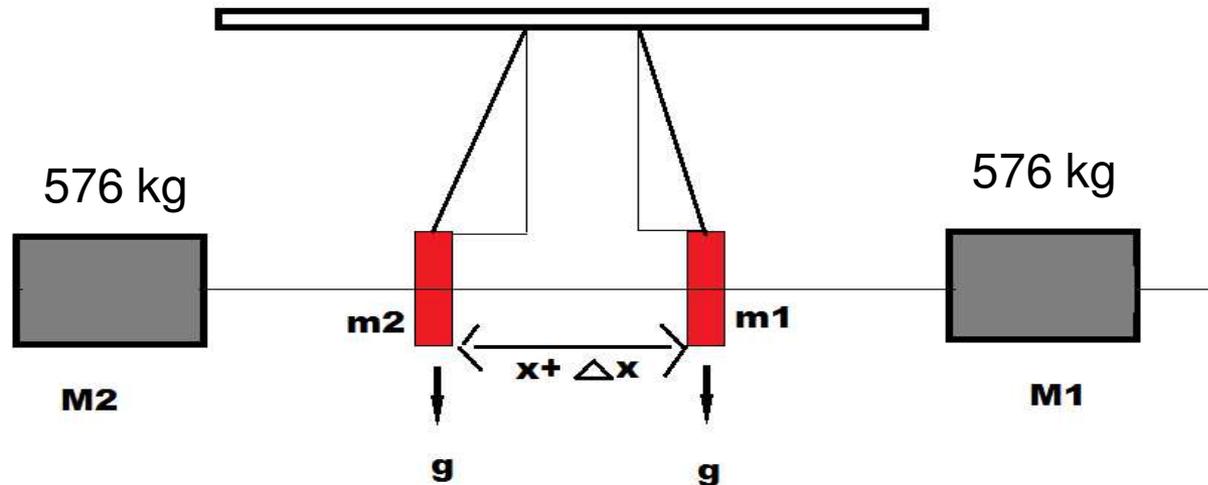
Experiment geht zurück auf Poynting

(> 13 Jahre Arbeit an Messung der mittleren Dichte der

Erde)



Fabry-Pérot Gravimeter (Uni Wuppertal)



- 2 Pendel mit Spiegeln, 2 Feldmassen
- Auswirkung der gravitativen Kraft der Feldmassen auf Pendel → Abstandsänderung

Fabry–Pérot Gravimeter

- Modulation der Ruhelage durch gravitative Kräfte
- offener Mikrowellenresonator: Abstandsänderung der Pendel (Genauigkeit 10^{-5}) → Frequenzänderung
- Messung der Gravitationskonstante, Verifizierung des $1/r^2$ Gesetzes



Quellen

- G. Gillies: The Newtonian gravitational constant: recent measurements and related studies, 1997, Rep. Prog. Phys. 60 15 (<http://iopscience.iop.org/0034-4885/60/2/001>)
- P. Mohr et al.: CODATA recommended values of the fundamental physical constants, 2002, Reviews of Modern Physics, Volume 77
- U. Kleinevoß: Bestimmung der Newtonschen Gravitationskonstanten G, 2002, Dissertation Universität Wuppertal WUB-DIS 2002-2
- J. Gundlach, S. Merkowitz: Measurement of Newton's Constant Using a Torsion Balance with Angular Acceleration Feedback, 2000, Phys. Rev. Lett. 85, 2869-2872