

Elisabeth Gibney fragt auf Seite 2 ihres Artikels **Ärger mit der Gravitationskonstante**¹

Wie stark ziehen sich zwei Massen an?

Diese Frage klingt zunächst simpel. Und eine Antwort könnte lauten: Die Anziehungskraft F zwischen zwei Massen wird bei den G -Messungen ermittelt mit Newtons Gravitationsgesetz

$$F_N = G \cdot M \cdot m / R^2. \quad (1)$$

Bei den Experimenten zur Bestimmung der Gravitationskonstante G werden meistens

- die größeren sog. „Feldmassen“ bzw. „Quellmassen“ M (typisch: 10 bis 1000 kg),
- die kleineren sog. „Pendelmassen“ oder „Testmassen“ m (typisch: 0,1 bis 10 kg),
- die *realen* Abstände R zwischen den Massen möglichst genau vermessen und
- die Anziehungskraft F aus den äußerst geringen Auslenkungen der Massen ermittelt.

Das klingt einfach. Aber in der Wirklichkeit ist die Situation bei den G -Experimenten aktuell eher ziemlich schwierig. So schreibt Stephan Schlamminger von **NIST** 4.26 in Metrologia²:

„Diese Replikation bietet eine unabhängige Überprüfung einer der präzisesten ... Bestimmungen von G und trägt zur Beurteilung der Reproduzierbarkeitsgrenzen aktueller experimenteller Techniken bei Messungen der Gravitationskonstante bei.“

Das Team von Stephan Schlamminger ermittelte in fast 10 Jahren (siehe **Figure 27: this work**) „so einen Wert von $G = 6,67387 \times 10^{-11} \text{ m}^3 \text{ kg}^{-1} \text{ s}^{-2}$, der um 0,0235 Prozent vom früheren **BIPM**-Wert abweicht. Das Ergebnis liegt damit deutlich unter dem international vereinbarten **CODATA**-Wert von $G = 6,67430 \times 10^{-11} \text{ m}^3 \text{ kg}^{-1} \text{ s}^{-2}$

(die Fehlerbalken der beiden Werte überlappen sich aber ganz knapp)“, schreibt E. Gibney.

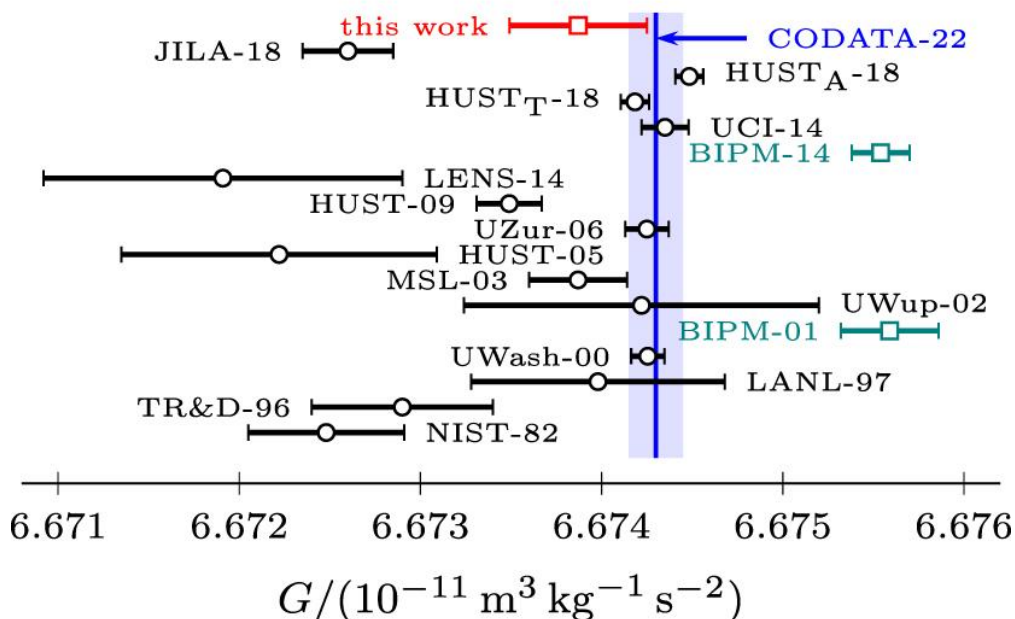


Figure 27. Comparison of this work with selected recent measurements. In Metrologia **63** aus

² Redetermination of the gravitational constant with the **BIPM** torsion balance at **NIST**, Seite 27

Warum streuen die Ergebnisse der G -Experimente so enorm?

Aus meiner Sicht gibt es dafür hauptsächlich drei Gründe, warum die Messwerte der Gravitationskonstante G bei Experimenten mit *unterschiedlichsten* Massen M , Abständen R und Anziehungskräften F so stark streuen:

1. Der kleine Wert von $G = 6,67430 \times 10^{-11} \text{ m}^3 \text{ kg}^{-1} \text{ s}^{-2}$ kann Kräfte unter $1 \mu \text{ N}$ ergeben.
2. Durch diese *sehr schwachen* Gravitations-Kräfte und -Beschleunigungen reagieren die Experimente äußerst empfindlich auf alle möglichen Störeinflüsse, siehe dazu **Bild 22**:

Die Bestimmung der Gravitationskonstante G

Probleme

1. Extrem geringe Beschleunigungen und Kräfte
2. Erschütterungen, Vibrationen
3. Luftströmungen
4. Elektromagnetische Störungen
5. Störende Massen und Kräfte in der Nähe
6. Störende Einflüsse auf den Abstand R
7. Stimmt Newtons Gesetz unter $b_G < 10^{-8} \text{ m/s}^2$?

22

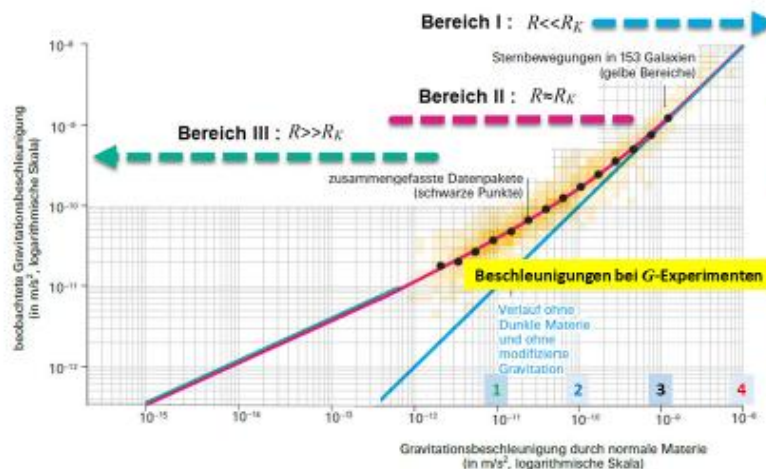
Lösungen

1. Hochempfindliche Experimente, da $F < 1 \mu \text{ N}$!
2. Granitblöcke in großen Tiefen
3. Messungen im Vakuum
4. Abschirmungen, Faradayscher Käfig
5. Präzise Bestimmung der Massen M und m
6. Hochgenaue Bestimmung der Abstände R
7. Nein, bei $b_G < 10^{-8} \text{ m/s}^2$ ist der Fehler $> 1\%$!

Die **Bilder 22** und **16** sind vom **Vortrag 3 Geschichte der Gravitationskonstante** im Palitzsch-Museum Dresden: <https://www.naturkonstanten.de/PDFs/PDFs-von-meinen-Vortraegen/>

3. Bei den *sehr schwachen* Gravitations-Kräften und -Beschleunigungen (Feldstärken) ist bei Berechnung des Wertes der Gravitationskonstante G neben der bekannten

Die Geschichte der Gravitationskonstante G



16

gemessene Gravitationsbeschleunigung von Sternbewegungen in Galaxien

I mehr *klassische Gravitation*; II R_K von Gl. (2b) markiert den *Übergangsbereich*; III nur *Quantengravitation*

- **klassischen Gravitationskomponente** von I. Newton und A. Einstein im **Bereich I** für *starke bis schwache* Beschleunigungen bei den Auswertungen auch unbedingt die
- **Quanten-Gravitation** bei den viel geringeren Beschleunigungen **b_Q** im **Bereich III** mit einzubeziehen. Das *allgemeine* Gesetz der Gravitation gilt nicht nur im Kosmos. Nein! Dieses *vollständige* Gesetz der Gravitation gilt auch für die *G-Experimente im Labor*.

Die **beobachteten Punkte** im **Bild 16** sind **ohne** diese **Quanten-Feldstärke b_Q** **nicht** erklärbar:

$$b_G = b_N + b_Q = G \cdot M / (R \cdot R) + G \cdot M / (R_K \cdot R). \quad (2a)$$

Wir konstatieren: Der *fundamentale Unterschied* zwischen der *klassischen* und der *Quanten-Komponente* der Gravitation sind deren gravierend *unterschiedliche* Abstandsgesetze:

- **b_N** ist proportional zu $1/R^2$ und fällt bei **R** -Vergrößerung *quadratisch* ab, also *stärker*.
- **b_Q** ist proportional zu $1/R$ und fällt bei **R** -Vergrößerung nur *linear* ab, also *schwächer*!

Die **Quanten-Feldstärke b_Q** beginnt ab dem Konstant-Radius **R_K** von Gl. (2a) zu dominieren:

$$R_K = \sqrt{M / D_G} \quad (2b)$$

R_K hängt *nur* ab von der *Feldmasse M* und von einer Konstante, der *Gravitonen-Flussdichte*

$$D_G = M / R_K^2 = a_G / G \approx 1,442 \text{ kg} / \text{m}^2. \quad (3)$$

Bei dem Wert der Naturkonstante **a_G** in Gl. (3), bei der sog. Milgrom-Beschleunigung³

$$a_G = G \cdot D_G \approx 1,0 \cdot 10^{-10} \text{ m} / \text{s}^2, \quad (4)$$

sind beide *Gravitationskomponenten* der Schwerkraft - im **Bild 16** gut erkennbar -, die

- **klassische** Newton-Einstein-Gravitation und die
- **Quanten-Gravitation**, exakt gleich! Den *Übergang* zu dem **Bereich III** mit zunehmend
- *konstanteren* Geschwindigkeiten bei **$R > R_K$** bei Messungen der *Astronomen* und zum
- *veränderten $1/R$ -Abstandsverhalten* bei Messungen der *Experimentatoren* markieren die Naturkonstanten **a_G** bzw. **D_G** . In der Gl. (4) „verbindet“ **G** die Konstanten. Theorien ohne **Quanten**-Komponente werden aktuell an Beobachtungen mit Dunkler Materie „angepasst“.

Wenn Sie das **Bild 27** des Metrologia-Artikels betrachten, dann verstehen Sie, wie schwierig es wird, mit den „klassischen“ *Experimenten* weitere **G** -Nachkommastellen zu erhalten.

Bei Gibney¹ steht: „Schlamminger betont, dass er mit **G** fertig sei, sich aber weiterhin für das Thema interessiere. Versuche zur Bestimmung der Gravitationskonstante seien sehr anstrengend, und das letzte Jahrzehnt sei eine emotionale Achterbahnfahrt für ihn gewesen.“

Bei **G** ist es in der Metrologie so, wie mit der *Dunklen Materie* in der Kosmologie:

- *Genauere Experimente* sollten seit mehr als fünf Jahrzehnten offene Probleme lösen.
- *Genauere Theorien* der Gravitation mit präzisen *Vorhersagen* sind aber *Mangelware*!

In meinem zweiten Buch **NATURKONSTANTEN** von 3.23 steht deshalb am Ende Folgendes:

*Naturgemäß steigt der Aufwand für die Grundlagen-Experimente auf unserer Erde und im Weltraum an. Noch vor kurzer Zeit war es eine Utopie, die **Gravitationskonstante** aus besser bekannten **Naturkonstanten** herzuleiten.*

Heureka. Es ist möglich!

Der geniale Physiker **Max Planck** war überzeugt,
„daß es den Menschen möglich ist, durch reines Denken
Aufschlüsse über Gesetzmäßigkeiten zu gewinnen.“ [13.14]

³ Mordehai Milgrom, auf S. 169, Gl. (11.2.2), im E-Book (9,99 €) bzw. im Print-Book (24,99 €) **NATURKONSTANTEN-SCHLÜSSEL ZUM VERSTÄNDNIS DER WELT**, die **HCL**-Theorie bei <https://buchshop.bod.de/naturkonstanten-peter-pohling-9783757834685>

In Pohlings **Anmerkungen 1.26** zu **Schwerkraft-Quanten dringend gesucht** wurde gezeigt, wie die (unbekannten) Längenkonstanten I_K und I_E der *kinetischen* Kräfte K und der *elektrischen* Kräfte E aus genauer bekannten Naturkonstanten hergeleitet werden können:

Maxwells Feldkonstante $\epsilon_0 = 8,8541878188 \cdot 10^{-12} \text{ m}^{-6} \text{ kg}^{-2} \text{ s}^2$ ist fast millionenfach (!) genauer als die Gravitationskonstante G . Die aus ϵ_0 folgende sogenannte **Maxwell-Länge**

$$l_{Ma} = l_E = \epsilon_0^{-1/2} \cdot h^{-1} = a_e / \sqrt{\pi} = 5,0718874256 \cdot 10^{+38} \text{ m}, \text{ Anm. 1.26: (2a)}$$

ist somit viel genauer als die 1900 von Planck aus Newtons G berechnete **Planck-Länge**

$$l_{Pl} = l_G = G^{1/2} \cdot h^{1/2} \cdot c^{-3/2} = 4,05135 \cdot 10^{-35} \text{ m}. \text{ Anm. 1.26: (2b)}$$

Der Quotient I_G / I_E ergibt zunächst die 3. Potenz der sog. **Längen-Grobstrukturkonstante** ϕ . Die 2. Potenz der **Längen-Strukturkonstante** ϕ folgt - für G in Gl. (6) - dann aus der Relation

$$R = I_K / I_E = \sqrt{G^{2/3} \cdot \epsilon_0^{2/3} \cdot h^2 / c^2} = \phi^2 = 1,854756 \cdot 10^{-49}. \quad (5)$$

R einte I_E mit der **Boltzmann-Länge** I_K der nur *lokal begrenzt* wirkenden **kinetischen** Kräfte:

$$I_E \cdot \phi^2 = I_K = l_{Bo} = \psi \cdot a_0 \sqrt{\pi} = 9,40711542269 \cdot 10^{-11} \text{ m}. \text{ Anm. 1.26: (5a)}$$

Mit dem Zusammenhang zwischen den Längenkonstanten I_E und I_K der elektrischen, der gravitativen und der kinetischen Kräfte wird ab S. 139 in **NATURKONSTANTEN G** berechnet.

Wie G durch genauere Naturkonstanten zu einer Präzisionskonstante wird

Bereits 1900 ermittelte Max Planck in dem Artikel „Über irreversible Strahlungsvorgänge“ aus der Gravitationskonstante G , dem Wirkungsquantum h , der Lichtgeschwindigkeit c die **Längenkonstante der Gravitation**, die nach ihm benannte **Planck-Länge** $l_{Pl} = l_G$. Da G noch eine *zu ungenaue* Konstante ist, wird die Planck-Länge l_G mit Gl. (6) durch I_K und I_E ersetzt:

$$G = l_G^2 \cdot c^3 / h = \phi^2 l_K^2 \cdot c^3 / h = (l_K^3 / I_E) c^3 / h. \quad (6)$$

Denn G hat bisher nur fünf Nachkommastellen! Diese *ungenaue* und *extrem* kleine Planck-Länge $l_{Pl} = l_G$ der Gravitation wird in Gl. (6) mit der **Längen-Grobstrukturkonstante** ϕ der **HCL**-Theorie anhand der Gleichungen (5) und (6) hinein in den Bereich der wesentlich genauer bekannten *atomaren* Konstanten „transformiert“. Damit ist

- ϕ der *erste Schlüssel* für G auf dem Weg zu einer Präzisionskonstante.

Mit ψ in Gl. (5a) ist eine zweite „Hürde“ zu nehmen: Die *Anomalie* des *atomaren* Radius a_0 . Die sog. a_0 -Anomalie von g_G ist im Einblick I von **NATURKONSTANTEN** verwandt mit dem sog. *gyromagnetischen Faktor* g_E . Analog lautet der von mir gefundene *gravomagnetische Faktor*

$$g_G = \psi^3 = 1 + 1 / \left(\pi^2 \left(1/2 + 1/4\pi\alpha \right) \right). \quad (7)$$

- ψ ist der *zweite Schlüssel* zu der nunmehr *präzisen* Längenkonstante $I_K = \psi a_0 \pi^{1/2}$.

Das ergibt mit den *genauen* Konstanten h , π , c , α , I_E sowie $g_G = \psi^3$ aus Gleichung (7) den Vorhersagewert für die **Gravitationskonstante** auf deren Weg zu einer **Präzisionskonstante**:

$$G^* = \pi^2 (\psi a_0 c)^3 / (a_e h) = 6,67430 \text{ 2585 8(35)} \cdot 10^{-11} \text{ m}^3 \text{ kg}^{-1} \text{ s}^{-2}. \quad (8)$$

Der **CODATA**-Wert von **2022** für $G = 6,674 \text{ 30(15)} \cdot 10^{-11} \text{ m}^3 \text{ kg}^{-1} \text{ s}^{-2}$ kann bleiben, bis mit der *Gravitationswellen-Technologie* (s. **NATURKONSTANTEN**, *Gravitation auf dem Prüfstand*, S. 179 -184) aus *Experimenten* *genaue Werte* folgen wie mit *genauen Konstanten* in Gl. (8).