

Ein Vortrags- und Diskussionsabend mit Dipl.-Ing. Peter Pohling
am 16. November 2023, 19 Uhr im Palitzsch-Museum Dresden

Teil 3:

**Geschichte der
Gravitationskonstante G**

-

**von Newton und Cavendish
zu dem hunderttausendfach genaueren Vorhersagewert
für die Gravitationskonstante**

Die Geschichte der **Gravitationskonstante** G

Ouvertüre -Was die Physiker heute schwer irritiert

*„Die **Gravitation** beherrscht unseren **Alltag** und lenkt die Entwicklung des gesamten **Kosmos**.*

Doch bis heute bereitet die attraktive Kraft den Wissenschaftlern Kopfzerbrechen.

*Die **Gravitationskonstante** ist nicht bloß irgendein physikalischer Parameter.*

Sie ist eine fundamentale Größe, die Stärke und Eigenschaften der Schwerkraft bestimmt.

Sie ist dafür verantwortlich, dass Menschen, Tiere und Gegenstände am Boden bleiben und nicht abheben.

Gleichzeitig beherrscht sie die großräumigen Vorgänge im All:

Die Bewegungen von Planeten, Sternen und Galaxien geschehen unter ihrer Regie.

-

*Seit Jahrzehnten fahnden sie verzweifelt nach dem genauen Wert der **Gravitationskonstante** -
und damit dem Fundament der Schwerkraft. Doch bislang hatten ihre akribischen Experimente wenig Erfolg.*

***Ab der dritten Stelle hinter dem Komma driften die Resultate deutlich auseinander. –
eine Schlappe für das Ego der Präzisionsphysiker.“***

Geschichte und Genese der Gravitationskonstante G

in nur vier Etappen:

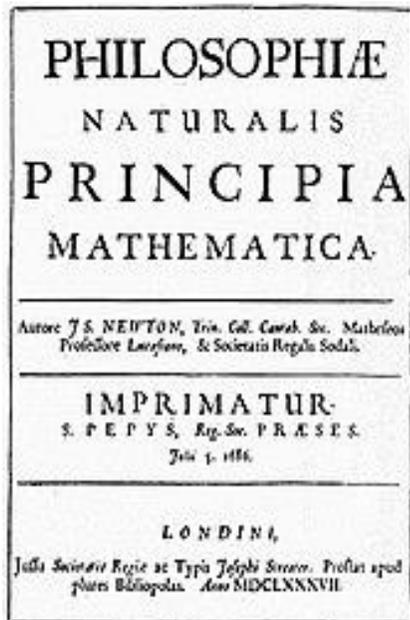
1. **Gravitationsgesetze** - vom Wiegen der Erde, Varianten der Konstante G und Gegenkräfte

2. **G -Experimente** – bisher erzielte Messgenauigkeiten und die Probleme bei Experimenten

3. Wie der Vorhersagewert für G aus hundertausendfach genaueren Naturkonstanten folgt

4. **Gravitation im Test** - Moderne G -Experimente weisen den Weg zur Quantengravitation!

Die Geschichte der **Gravitationskonstante G**



Quelle: Wikipedia
Isaac Newton

Philosophiæ Naturalis Principia Mathematica, oft auch **Principia Mathematica** oder einfach **Principia** genannt, ist das Hauptwerk von [Isaac Newton](#). Der lateinische Titel bedeutet übersetzt **Die mathematischen Grundlagen der Naturphilosophie**.

Das Werk wurde **1687** in lateinischer Sprache veröffentlicht.^[1]

Von [Edmund Halley](#), dem Initiator des Werkes und Organisator der Erstausgabe, immer wieder ermuntert,

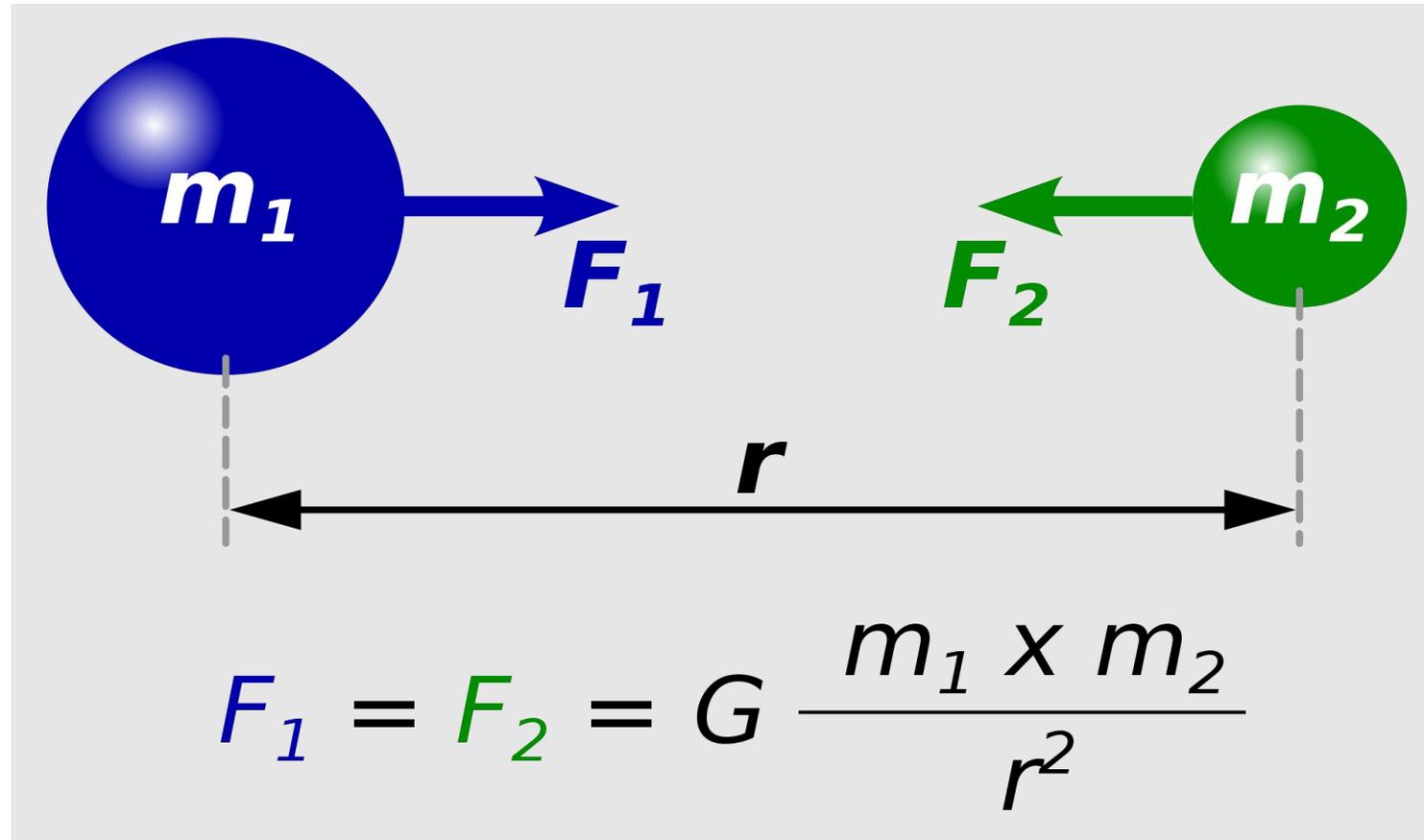
verfasste Newton eines der einflussreichsten physikalischen und astronomischen Bücher.



Sonderbriefmarke der Deutschen Bundespost zum 350. Geburtstag

Die Geschichte der **Gravitationskonstante** G

Newton's Gravitationsgesetz = Massen-Anziehungsgesetz



Quelle:
Wikipedia

Aus dem Vortrag 2: „Periodensystem der Physik“ : Newtons 3 Axiome

1. **Trägheitsgesetz**: Ein kräftefreier Körper mit der Masse m bleibt **in Ruhe** oder er bewegt sich **geradlinig mit konstanter Geschwindigkeit**

Impulssatz

$$p = m \cdot v$$

2. **Kraftgesetz**: Kraft F ist gleich Masse mal Beschleunigung a Beispiel: **Zentrifugalbeschleunigung**

$$a_z = \frac{v^2}{R}$$

3. Kraft = **Gegenkraft** Beispiel: **Gravitative Kraft = Kinetische Kraft**

Gravitationskonstante

$$G \frac{M}{R^2} \cdot m = m \cdot \frac{v^2}{R}$$

Quelle:
Wikipedia

m : Objektmasse

Gravitationsbeschleunigung $\cdot m = m \cdot$ **Zentrifugalbeschleunigung**

Wikipedia: I. Newton/Gravitationskonstante

Die Geschichte der **Gravitationskonstante** G

3 Varianten der Gravitationskonstante

Gravitationskonstante

$$G = 6,674\ 30\ (15) \cdot 10^{-11}\ \text{m}^3\ \text{kg}^{-1}\ \text{s}^{-2}$$

im Gravitationsgesetz von **Newton**

$$F = G \frac{M \cdot m}{R^2}$$

G -Strukturgleichung:

$$G = l_{Pl}^2 \frac{c^3}{h}$$

Gravitationskonstante

$$k = 8,169\ 64 \cdot 10^{-6}\ \text{m}^{3/2}\ \text{kg}^{-1/2}\ \text{s}^{-1}$$

im Gravitationsgesetz von **Gauß**

$$F = k^2 \frac{M \cdot m}{R^2}$$

k -Strukturgleichung:

$$k = \sqrt{G} = l_{Pl} \frac{c^{3/2}}{h^{1/2}}$$

Gravitationskonstante

$$\kappa = 2,0766 \cdot 10^{-43}\ \text{m}^{-1}\ \text{kg}^{-1}\ \text{s}^2$$

im Gravitationsgesetz von **Einstein**

$$G_{\mu\nu} = \kappa \cdot T_{\mu\nu}$$

κ -Strukturgleichung:

$$\kappa = 8\pi \frac{G}{c^4} = 8\pi \frac{l_{Pl}^2}{hc}$$

Quelle: Wikipedia
Gaußsche Gravitationskonstante

Die Geschichte der **Gravitationskonstante** G

Newton's Gravitationsgesetz: Ein Massen-Anziehungsgesetz

„Genau genommen taucht G in Newtons ... Principia nicht einmal auf. So bleibt in jenem Meisterwerk, das die Gravitationskraft zwischen zwei Körpern beschreibt, das Maß für die Stärke der beschreibenden Kraft **unerwähnt**.

Zu Newtons Zeit war die Gravitationskonstante nicht interessant.

Die Massen der Himmelskörper waren einfach zu ungenau bekannt, und es gab keine hinreichend präzise Technologie, um Kräfte zwischen zwei Massen im Labor zu messen. Die Wissenschaft interessierte sich vielmehr für astronomische oder geophysikalische Fragen wie die Dichte der Erde.

Diese hatte Newton auf 5000 bis 6000 kg m⁻³ geschätzt und damit den heutigen Wert von $\rho_e = 5514 \text{ kg m}^{-3}$ gut getroffen.“

Quelle: **Schwere Experimente** – Bis heute bringt die präzise Messung der Gravitationskonstanten Experimentatoren an ihre Grenzen von Christian Rothleitner und Stephan Schlamminger in Physik Journal 14 (2015) Nr. 11, S. 37

Die Geschichte der **Gravitationskonstante** G

Wie die Konstante G in das Gravitationsgesetz kam

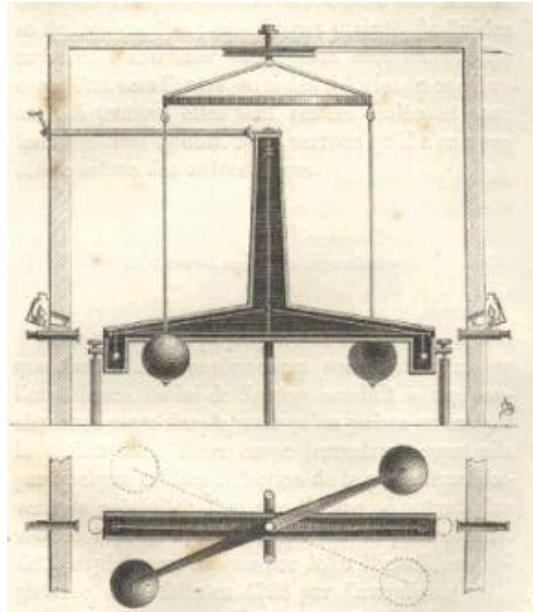
„Wahrscheinlich führte Simon Denis **Poisson** (1781 – 1840) - ein Physiker und Mathematiker – die Konstante **erst 1811** ein.

König und Richarz haben **1885** das noch heute übliche **Symbol G** – häufig '**groß G** ' genannt – verwendet. Sie prägten zudem den Ausdruck '**Gravitationskonstante**'

Die erste Messung **im Labor** veröffentlichte **Cavendish** 1798. Er benutzte eine Torsionswaage, die er von seinem Freund John Michell erbte. Damit maß er die Dichte der Erde relativ zur Dichte von Wasser. Hierzu war es nicht nötig, G zu kennen, sondern die Verhältnisgleichung aus Newtons Principia genügte.“

Quelle: **Schwere Experimente** – Bis heute bringt die präzise Messung der Gravitationskonstanten Experimentatoren an ihre Grenzen von Christian Rothleitner und Stephan Schlamminger in Physik Journal 14 (2015) Nr. 11, S. 37

Die Geschichte der **Gravitationskonstante G**



Quellen:
Leifphysik und Wikipedia
Henry Cavendish

(1731 – 1810)

10

Etappe 2

1798 benutzte [Henry Cavendish](#) eine **Torsions-Drehwaage**, um erstmalig **im Labor** die **Dichte der Erde** bestimmen zu können.

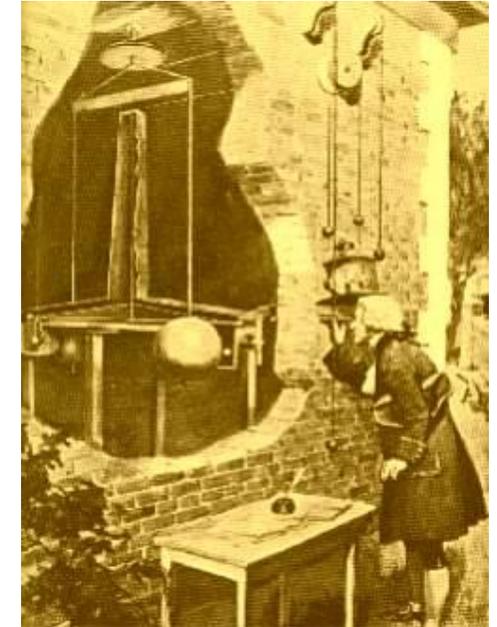
„**Drehwaage**“ bedeutet, dass der Betrag des Winkels, um den ein Draht aus seiner Ruheform verdreht wird, Auskunft über die zwischen den Testmassen wirkende Kraft berechnen.

Zwei große Blei-Kugeln mit einer Gesamt-Feldmasse von $M = 316 \text{ kg}$, dicht daneben zwei kleine Blei-Kugeln mit einer Gesamt-Testmasse von $m = 1,46 \text{ kg}$, erzeugten eine Anziehungskraft,

die die **Testmassen ca. 1° aus der Ruhelage auslenkten**. Aus dem Auslenkwinkel wurde die Torsionskraft ermittelt. Aus Cavendishs Messwerten ergab sich

$$G_{\text{Cavendish}} = 6,754 \cdot 10^{-11} \text{ m}^3 \text{ kg}^{-1} \text{ s}^{-2} .$$

Dies verfehlt den heutigen Wert nur um ca. 1 Prozent!



Eine **Drehwaage**, wie sie auch Charles COULOMB für die Ermittlung des Grundgesetzes der Elektrostatik benutzte.

Beobachtung mit Fernrohr

Die Geschichte der **Gravitationskonstante** G

Cavendishs Experiment – ein Meilenstein der Experimentalphysik

„Cavendishs berühmtes Experiment hat die Messungen für die nächsten zweihundert Jahre nachhaltig beeinflusst. Der Aufbau ist elegant, simpel und ein Meilenstein der Experimentalphysik.“

Was ist die Motivation dafür, die Gravitationskonstante immer genauer kennen zu wollen?

Für einen Metrologen ist es in erster Linie natürlich die enorme Herausforderung einer präzisen Messung von G an sich. Sie ist schließlich eine Fundamentalkonstante und sollte so genau wie möglich bekannt sein.

Wenn Schwierigkeiten bei der Messung auftreten, deutet das vielleicht darauf hin, dass die Gravitation ungenügend verstanden ist.“

Quelle: **Schwere Experimente** – Bis heute bringt die präzise Messung der Gravitationskonstanten Experimentatoren an ihre Grenzen von Christian Rothleitner und Stephan Schlamming in Physik Journal 14 (2015) Nr. 11, S. 37

Aus dem Vortrag 2: „Periodensystem der Physik“ : Newtons 3 Axiome

1. **Trägheitsgesetz**: Ein kräftefreier Körper mit der Masse m bleibt **in Ruhe** oder er bewegt sich **geradlinig mit konstanter Geschwindigkeit**

Impuls

$$p = m \cdot v$$

1. **Kraftgesetz**: **Kraft F** ist gleich **Masse** mal **Beschleunigung a** Beispiel: **Zentrifugalbeschleunigung**

$$a_z = \frac{v^2}{R}$$

2. **Gravitationskraft = Zentrifugalkraft**

$$G \frac{M}{R^2} \cdot m = m \cdot \frac{v^2}{R}$$

m : Objektmasse

Gravit.-beschleunig. $\cdot m = m \cdot$ **Zentr.-beschleunig.**

Einstein hat **1915** mit seiner **ART** Newtons Gravitationsgesetz für die **starken Beschleunigungen** in Sonnennähe **modifiziert**.

Milgrom hat **1983** mit **MOND** Newtons und Einsteins Theorien für die **sehr schwachen Beschleunigungen** in den Galaxien **modifiziert**.

Die Geschichte der **Gravitationskonstante** G

„Einsteins Formeln, die die von Newton eingeführte Gravitationskonstante enthalten, können den tieferliegenden Charakter der Gravitation und den Mechanismus, wie sie entsteht, nicht erklären:

Weshalb zerren Massen an der Raumzeit? Und was sind überhaupt Massen?

Der physikalische Kern der ominösen Kraft liegt im Dunkeln.

Möglicherweise versagt das Gravitationsgesetz auch auf großen Skalen: in den fernen Tiefen des Weltalls – Dort könnte eine Theorie namens **MOND** gelten, die **Modifizierte Newtonsche Dynamik**.

„*Damit ließe sich erklären, warum Galaxien ... nicht auseinanderfliegen*“, sagt **KIT**-Physiker Frans Klinkhamer. Unbekannte hypothetische Teilchen als „*Dunkle Materie*“ werden bei dieser Theorie nicht gebraucht.

Sollten sich solche Spekulationen bewahrheiten, wäre es **kein Wunder, dass verschiedene Versuche zu ganz unterschiedlichen Werten für die Gravitationskonstante kommen:**

Da **jedes Experiment** unter **anderen Bedingungen** abläuft,

könnte es **stets den Wert messen, der just für diese Bedingungen gilt.**

Die große Diskrepanz der Messwerte für die Grundgröße der Schwerkraft wäre dann nicht ein Ärgernis, sondern ein spektakulärer Fingerzeig auf eine neue Physik.“

Die Geschichte der **Gravitationskonstante G**

Das Gravitationsgesetz für schwache und sehr schwache **Beschleunigungen**

$$F_G = G \frac{M}{R^2} \cdot m + G \sqrt{D_G} \frac{\sqrt{M}}{R} \cdot m = \frac{v^2}{R} \cdot m$$

$$R_K = \sqrt{\frac{M}{D_G}}$$

$$\frac{G}{G_N} = \frac{1}{1 + \frac{R}{R_K}}$$

Newton-Gravitation + **Quanten-Gravitation**

< Vortrag 21. März 2024: „Einsteins Äther – der **Kosmos der Bosonen**“

$$F_G = G \frac{M}{R^2} \cdot m + G \frac{M}{R_K R} \cdot m = \frac{v^2}{R} \cdot m$$

$$b_G = G \frac{M}{R^2} + G \frac{M}{R_K R} = \frac{v^2}{R}$$

Übereinstimmung	Sonnensystem $R_K = 7850 \text{ AE}$	$\frac{R}{R_K}$
90,909 %	785 AE	0,1
99,009 %	78,5 AE	0,01
99,900 %	7,85 AE	0,001
99,990 %	0,785 AE	0,0001

Die Geschichte der Gravitationskonstante G

Beschleunigungen am Rand von Objekten

$$b_G = G \frac{M}{R^2}$$

Beschleunigungen bei G -Experimenten

Objekt	Masse M in kg	Radius R in km	Beschleunigung b_G in m/s^2	Kraft F_G in N auf m 100 kg
Mond	$7,4 \cdot 10^{22}$	1737	1,63	163
Mars	$6,4 \cdot 10^{23}$	3396	3,71	371
Erde	$6,0 \cdot 10^{24}$	6378	$g = 9,81$	981
Sonne	$2,0 \cdot 10^{30}$	696342	273,69	27369

Feld-Masse	Masse M in kg	Abstand R in m	Beschleunigung b_G in m/s^2	Kraft F_G in N auf m 100 kg
1	0,15	1	$1,00 \cdot 10^{-11}$	$1,00 \cdot 10^{-9}$
2	1,50	1	$a_M = 1 \cdot 10^{-10}$	$1,00 \cdot 10^{-8}$
3	15,0	1	$1,00 \cdot 10^{-9}$	$1,00 \cdot 10^{-7}$
4	150	1	$1,00 \cdot 10^{-8}$	$1,00 \cdot 10^{-6}$

bei Abstand $R = 1$ m
Massen $M = m = 1$ kg

Newton

$$b_N = G \frac{M}{R^2}$$

$$G = 0,667430 \cdot 10^{-10} \text{ m}^3 \text{ kg}^{-1} \text{ s}^{-2}$$

15

$$F_N = 0,667430 \cdot 10^{-10} \text{ N}$$

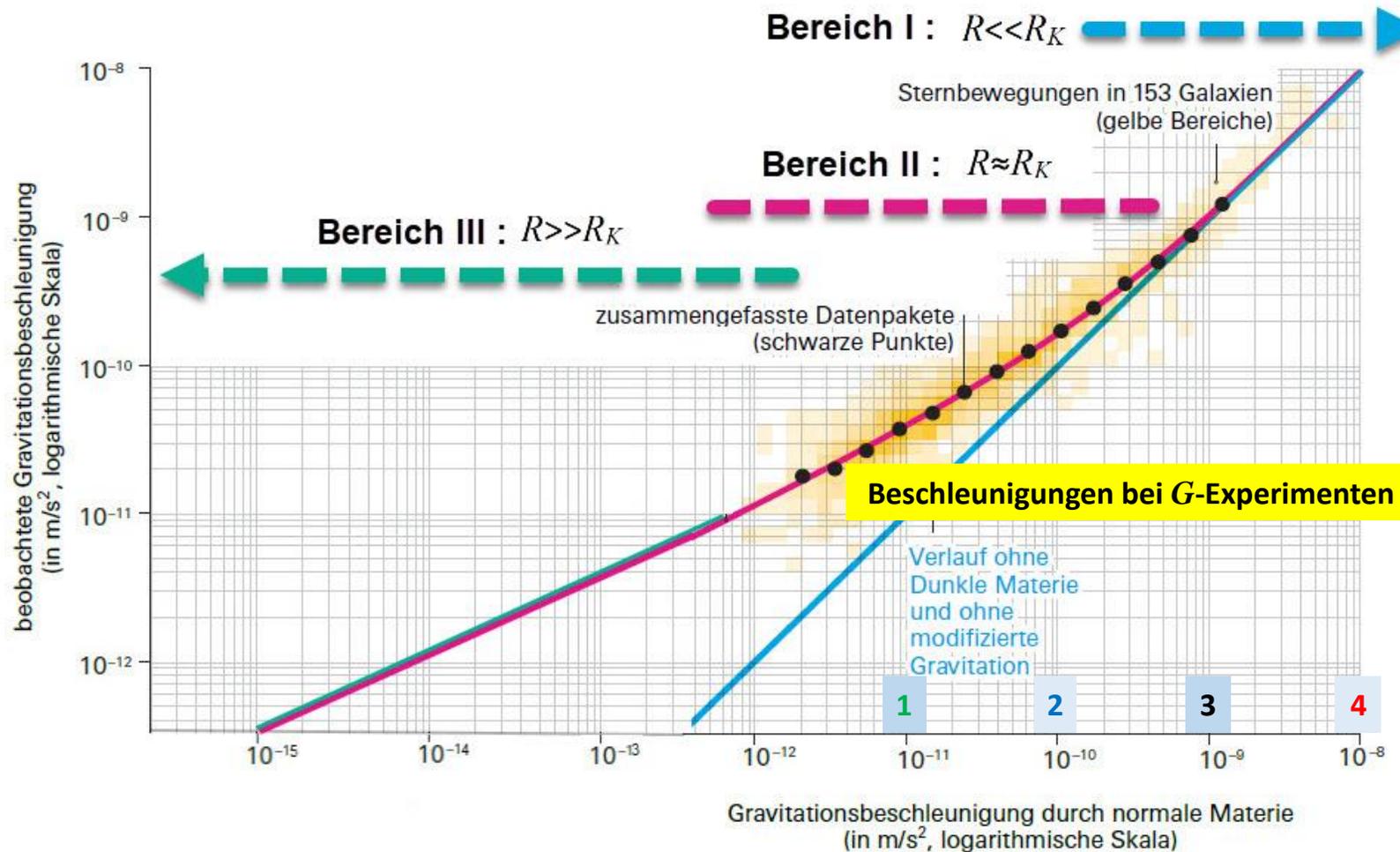
Milgrom

$$a_M = G \frac{M}{R_K^2} = G \cdot D_G$$

Pohling

$$D_G = 1,441568 \text{ m}^{-2} \text{ kg}$$

Die Geschichte der **Gravitationskonstante G**



Quelle:
Spektrum der Wissenschaft 9/2019
 in
NATURKONSTANTEN
 Schlüssel zum
 Verständnis der Welt,
 die **HCL**-Theorie
 auf S. 175, Bild (11.3)

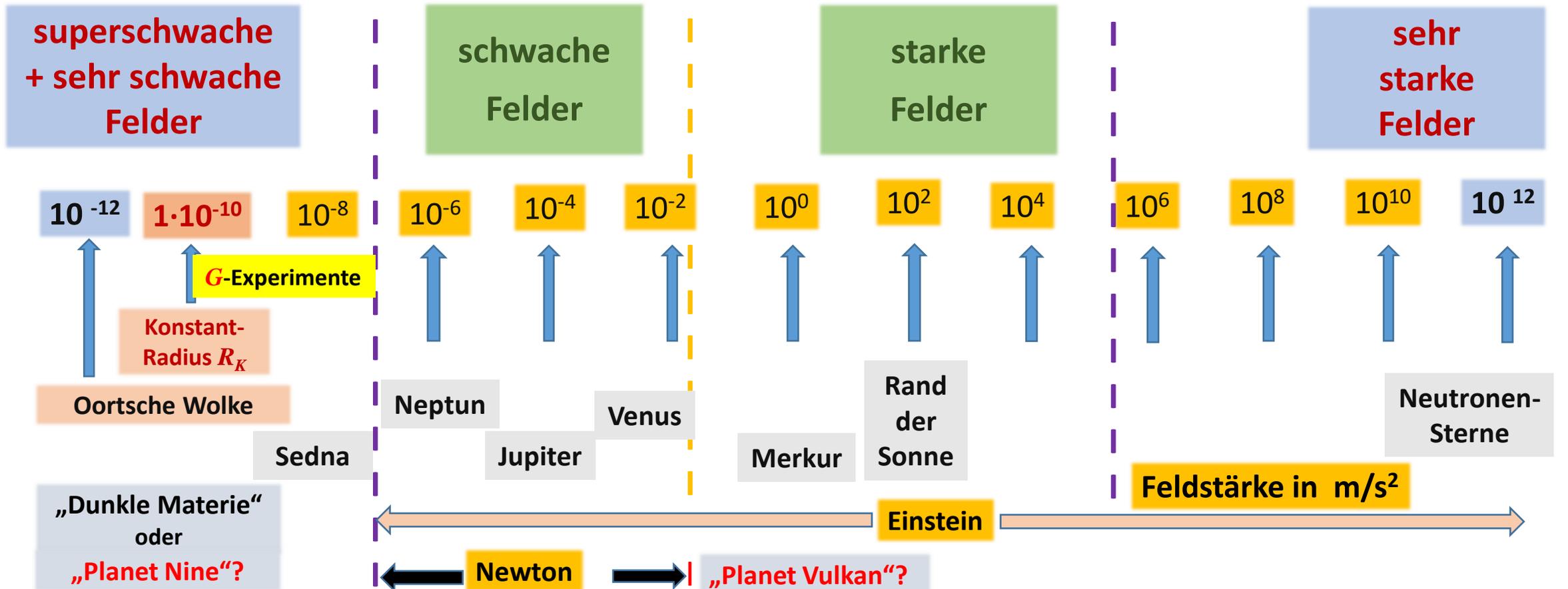
Die Geschichte der **Gravitationskonstante G**

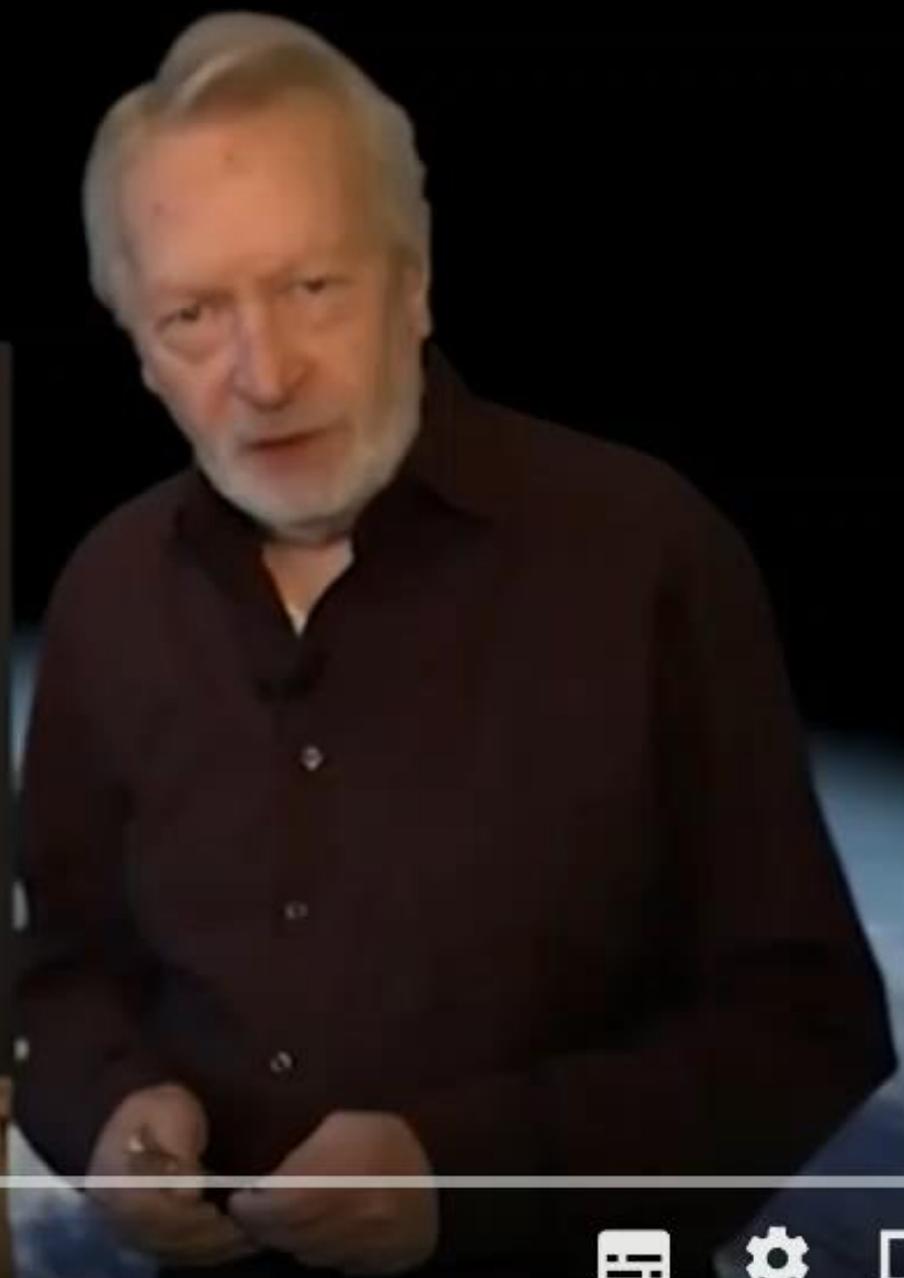
Die Gegenkräfte der Gravitation in Abhängigkeit von der **Beschleunigung**

Universum	G-Experimente					Erde 9,81	Sonne $2,74 \cdot 10^2$			Weißer Zwerge $1,1 \cdot 10^7$		Neutronen-Sterne $1,9 \cdot 10^{12}$	Schwarze Löcher SL $3,8 \cdot 10^{14}$	Objekte	
Rand-Bereich	„Dunkle Materie“	<		Newton	NGT	>	Rand-Bereich					„Starke Kraft“	Kern-Bereich	1. Newton 1687 Gr.-Theorie NGT	
„Dunkle Energie“	„Dunkle Materie“	$R_{KSonnen.} < 7850 \text{ AE}$				Einstein	ART				>	„Starke Kraft“	Schwarze Löcher mit Singularität	2. Einstein 1915 Gr.-Theorie ART	
super schwach 10^{-12}	sehr schwach 10^{-10}	schwach 10^{-8}	schwach 10^{-6}	schwach 10^{-4}	schwach 10^{-2}	schwach 1	stark 10^2	stark 10^4	stark 10^6	stark 10^8	stark 10^{10}	sehr stark 10^{12}	super stark 10^{14}	Beschleunigung in m/s^2	
Quanten- < Hubble > Separation	Quanten- < Gravitation	Milgrom	MOND			>						Quanten- > Barytation	Quanten- < Fermi > Separation	3. Milgrom 1987 Theorie MOND	
entspricht „Dunkler Energie“!	<						1. Gegenkraft: Rotation						>	Schwarze Löcher ohne Singularität!	Zentrifugalkraft als Gegenkraft
Hubble Komp.							2. Gegenkraft: Separation							Fermi Komp.	Separation als Gegenkraft

5 Feldstärkebereiche der Gravitation

(dieses Bild von 2017 noch **ohne die** Schwarzen Löcher bei „superstarken“ 10^{14} m/s^2)



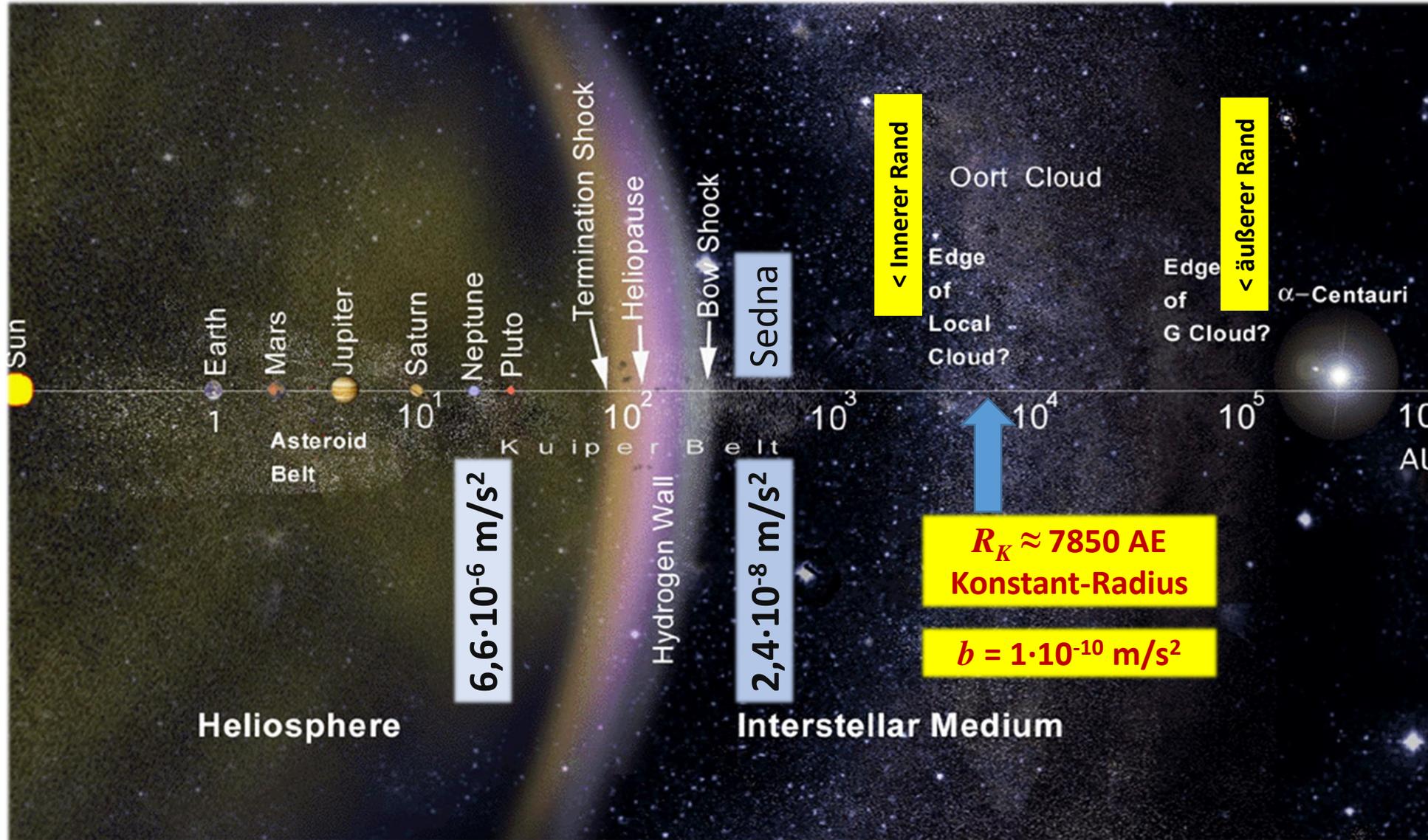


MOZ.de

0:15 / 3:57

A video player interface at the bottom of the screen. It includes a progress bar with a red segment on the left, a play button, a next button, a volume icon, and a time display showing 0:15 / 3:57. On the right side, there are icons for a playlist, settings, a window, and a full screen button.

Quelle: NASA



Die Geschichte der **Gravitationskonstante G**

Wie sich der Wert von **G** aus **hunderttausendfach genaueren Konstanten** ergibt

$$F_G = G \frac{M}{R^2} \cdot m + G \sqrt{D_G} \frac{\sqrt{M}}{R} \cdot m = \frac{v^2}{R} \cdot m$$

$$R_K = \sqrt{\frac{M}{D_G}}$$

$$\frac{G}{G_N} = \frac{1}{1 + \frac{R}{R_K}}$$

$$F_G = G \frac{M}{R^2} \cdot m + G \frac{M}{R_K R} \cdot m = \frac{v^2}{R} \cdot m$$

Klassische Gravitation + Quanten-Gravitation*

$$b_G = G \frac{M}{R^2} + G \frac{M}{R_K R} = \frac{v^2}{R}$$

Fehler ≈	Sonnensystem $R_K = 7850 \text{ AE}$	$\frac{R}{R_K}$
10,0 %	785 AE ≈ Sedna	0,1
1,00 %	78,5 AE ≈ Neptun	0,01
0,10 %	7,85 AE ≈ Jupiter	0,001
0,01 %	0,785 AE ≈ Venus	0,0001

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 $b_G < 10^{-8} \text{ m/s}^2$?

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 $> 1\%$!

Geschichte der **Gravitationskonstante**

Jahr CODATA	Gravitationskonstante $\times 10^{-11} \text{ m}^3 \text{ kg}^{-1} \text{ s}^{-2}$	Unsicherheit in ppm
Cavendish 1798	Torsionswaage-Wert 6,74(4)	nur 1,04 % größer als 2018
1969	6,67 32	460
1973	6,67 20	730
1986	6,67 45	120
1998	6,67 31	1500
2002	6,674 21	150
2006	6,674 28	100
2010	6,673 84	120
2014	6,674 08	46
2018	6,67430 (15)	22
Pohling 2022	HCL-Theorie 6,67430 2585(84)	Vorhersagewert in NATURKONSTANTEN

Die Geschichte der **Gravitationskonstante G**

Die Gegenkräfte der Gravitation in Abhängigkeit von der **Beschleunigung**

Universum	G-Experimente					Erde 9,81	Sonne $2,74 \cdot 10^2$			Weißer Zwerge $1,1 \cdot 10^7$		Neutronen-Sterne $1,9 \cdot 10^{12}$	Schwarze Löcher SL $3,8 \cdot 10^{14}$	Objekte
Rand-Bereich	„Dunkle Materie“	<		Newton	NGT	>	Rand-Bereich					„Starke Kraft“	Kern-Bereich	1. Newton 1687 Gr.-Theorie NGT
„Dunkle Energie“	„Dunkle Materie“	$R_{KSonnen.} < 7850 \text{ AE}$				Einstein	ART				>	„Starke Kraft“	SL mit Singularität	2. Einstein 1915 Gr.-Theorie ART
super schwach 10^{-12}	sehr schwach 10^{-10}	schwach 10^{-8}	schwach 10^{-6}	schwach 10^{-4}	schwach 10^{-2}	schwach 1	stark 10^2	stark 10^4	stark 10^6	stark 10^8	stark 10^{10}	sehr stark 10^{12}	super stark 10^{14}	Beschleunigung in m/s^2
Quanten- < Hubble > Separation	Quanten- < Gravitation	Milgrom	MOND			>						Quanten- > Barytation	Quanten- < Fermi > Separation	3. Milgrom 1987 Theorie MOND
entspricht „Dunkler Energie“!	<						1. Gegenkraft: Rotation					>	ergibt SL ohne Singularität!	Zentrifugalkraft als Gegenkraft
Hubble Komp.							2. Gegenkraft: Separation						Fermi Komp.	Separation als Gegenkraft

Aus dem Artikel im Informationsblatt der Palitzsch-Gesellschaft

Gravitationslinsen funktionieren ohne Dunkle Materie

von Dipl.-Ing. Peter Pohling, Palitzsch-Gesellschaft Dresden

Stand Juni 2016

Albert Einstein korrigierte **1917** ... die **Lichtablenkung in Sonnennähe** mit der Allgemeinen Relativitätstheorie (**ART**) um den **Faktor 2**.

Diese Vorhersage wurde **1919** bei einer Sonnenfinsternis bestätigt. Das war ein Meilenstein der Physik-Geschichte.

Die Licht-Ablenkungswinkel β_S an dem **Rand von Sternen** verkleinern sich (**gemäß Newton und Einstein**) mit $1/R^2$.

Aber wie entstehen Lichtablenkungen bei Galaxien mit ... Ausdehnungen **R** von einigen zehntausend Lichtjahren?

Einsteins Gravitationstheorie ergibt mit den **beobachtbaren Massen** ... **zu geringe Lichtablenkungen in den Weiten des Kosmos**.

Aus dieser Diskrepanz entwickelten die Kosmologen ein **Forschungsgebiet**:

Die Suche nach der fehlenden Masse, der sogenannten „Dunklen Materie“.

Über die Hypothese Dunkler Materie

Für **starke Gravitationsfeldstärken** in Sonnen-Nähe liefert die **ART** ... die Lichtablenkung und die Periheldrehung des Merkurs.

Newtons Theorie konnte das nicht erklären.

Bei **schwachen** Feldstärken gehen **Einsteins Bewegungsgleichungen** (nach Wolfgang Pauli) **„in die Newtonschen über“** [1]!

Aber möglicherweise entsprechen bei **sehr schwachen** Gravitationsfeldstärken **beide** Theorien nicht der Wirklichkeit.

Die Geschichte der **Gravitationskonstante G**

Die HCL-Theorie basiert auf **sechs genau bekannten Naturkonstanten** – nicht auf „dunklen“ *Hypothesen*.

Naturkonstanten	Symbol	Zahlenwerte	Einheiten	relative Unsicherheit	Gleichung im Buch NATURKONSTANTEN
Newton'sche Gravitationskonstante	G	6,674 30 ·10 ⁻¹¹	m ³ kg ⁻¹ s ⁻²	2,2 ·10 ⁻⁵	(1.1.5c)
Lichtgeschwindigkeit im Vakuum	c	2,997 924 58 ·10 ⁸	m s ⁻¹	exakt	(E.1)
Plancksches Wirkungsquantum	h	6,626 070 15 ·10 ⁻³⁴	J s = m ² kg s ⁻¹	exakt	(E.2)
elektrische Elementarladung	e	1,602 176 634 ·10 ⁻¹⁹	C = m^{-3/2} kg^{-1/2}	exakt	(E.3)
elektrische Feldkonstante	ϵ_0	8,854 187 812 8 ·10 ⁻¹²	F m⁻¹ = m⁻⁶ kg⁻² s²	1,5 ·10 ⁻¹⁰	(1.2.5)
Bohrscher Radius	a_0	5,291 772 109 0 ·10 ⁻¹¹	m	1,5 ·10 ⁻¹⁰	(2.3.2b)
Feinstrukturkonstante	α	7,297 352 569 3 ·10 ⁻³	1	1,5 ·10 ⁻¹⁰	(3.2.9b)

Wie die HCL-Theorie die Gravitationskonstante ergibt

Naturkonstanten	Symbol	Strukturformel	Krümmungs-Radien	Wert der Radien	Gleichung im Buch NATURKONSTANTEN
Newton'sche Gravitationskonstante	G	$= l_{Pl}^2 \frac{c^3}{h}$	Schwerkraft $l_{Pl} = l_G$	$4,051 \cdot 10^{-35} \text{ m}$	(1.1.1a)
Lichtgeschwindigkeit im Vakuum	c	ohne Struktur	-	-	(E.1)
Plancksches Wirkungsquantum	h	ohne Struktur	-	-	(E.2)
Elektrische Elementarladung	e	$= \frac{\sqrt{2\pi\alpha c/h}}{a_e}$	Elektrische Kraft $a_e/\sqrt{\pi} = l_E$	$5,072 \cdot 10^{38} \text{ m}$	(1.2.1a)
Elektrische Feldkonstante	ϵ_0	$= \frac{\pi}{a_e^2 h^2}$	Elektrische Kraft $a_e/\sqrt{\pi} = l_E$	$5,072 \cdot 10^{38} \text{ m}$	(1.2.1a)
Kinetische Elementarladung	d_e	$= \frac{1}{a_0 \sqrt{2\pi\alpha c/h}}$	Kinetische Kraft $a_0 \cdot \psi \cdot \sqrt{\pi} = l_K$	$9,407 \cdot 10^{-11} \text{ m}$	(1.3.1a)
Feinstrukturkonstante	α	ohne Struktur	-	-	(3.2.9b)

Wie die **HCL**-Theorie die **Gravitationskonstante** ergibt

Naturkonstanten	Symbol	Strukturformel	Konstanten-Relationen	Wert der Relationen	Gleichung im Buch NATURKONSTANTEN
Newton'sche Gravitationskonstante	G	$= \varphi^2 \cdot l_K^2 \frac{c^3}{h}$	$\varphi = \frac{l_G}{l_K}$	$4,307 \cdot 10^{-25}$	(8.4.3a)
Schritt 1 zur genauen Gravitationskonstante	G	$= \frac{l_K}{l_E} \cdot l_K^2 \frac{c^3}{h}$	$\varphi^2 = \frac{l_K}{l_E}$	$1,855 \cdot 10^{-49}$	(3.3.5a)
Schritt 2 zur genauen Gravitationskonstante	G	$= \frac{l_K^3}{l_E} \cdot \frac{c^3}{h}$	$\varphi^3 = \frac{l_G}{l_E}$	$7,988 \cdot 10^{-74}$	(8.4.3b)
Schritt 3 zur genauen Gravitationskonstante	G	$= \psi^3 \frac{\pi^{3/2}}{\pi^{-1/2}} \frac{a_0^3 c^3}{a_e h}$	$\psi^3 = g_G$	a_0 -Anomalie Konstante	(8.4.3b)
Schritt 4 zur genauen Gravitationskonstante	G	$= g_G \cdot \pi^2 \frac{a_0^3 c^3}{a_e h}$	$g_G = 1 + a_G$	$1,00888394$	(8.4.4d)
Lösung: Alternierende Reihe für Anomalie-Konstante	a_G	$= (1 - x + x^2 - x^3 \dots) \frac{2x}{\pi^2}$	mit $x = 2\pi\alpha$	$0,04585062$	(8.4.4a)
Vorhersagewert der HCL-Theorie:	G_{HCL}	$= 6,67430\ 25858 \cdot 10^{-11}$	Der aktuelle Stand bei CODATA/NIST:	$6,67430 \cdot 10^{-11}$	(8.4.6/7)

Wie die **HCL**-Theorie die **Gravitationskonstante** ergibt

Naturkonstanten	Symbol	Strukturformel	Konstanten-Relationen	Wert der Relationen	Gleichung im Buch NATURKONSTANTEN
Newton'sche Gravitationskonstante	G	$= \varphi^2 \cdot l_K^2 \frac{c^3}{h}$	$\varphi = \frac{l_G}{l_K}$	$4,307 \cdot 10^{-25}$	(8.4.3a)
Schritt 4 zur genauen Gravitationskonstante	G	$= g_G \cdot \pi^2 \frac{a_0^3 c^3}{a_e h}$	$g_G = 1 + a_G$	1,00888394	(8.4.4d)
Lösung: Alternierende Reihe für Anomalie-Konstante	a_G	$= (1 - x + x^2 - x^3 \dots) \frac{2x}{\pi^2}$	mit $x = 2\pi\alpha$	0,04585062	(8.4.4a)
der Vorhersagewert der HCL -Theorie:	G_{HCL}	= 6,67430 25858 · 10⁻¹¹	Der aktuelle Stand bei CODATA/NIST :	6,67430 · 10⁻¹¹	(8.4.6/7)

Der **HCL- Vorhersagewert** zeigt, dass die genauen **Naturkonstanten** der wahre Schlüssel zum Verstehen der Welt sind

$$G_{\text{HCL}} = \frac{a_0^3 c^3}{a_e h} \left(\pi^2 + \frac{4\pi\alpha}{1 + 2\pi\alpha} \right)$$

$$a_G = \left(\frac{x}{1+x} \right) \frac{2}{\pi^2} = \left(\frac{4\pi\alpha}{1+2\pi\alpha} \right) \frac{1}{\pi^2}$$

G_{HCL} folgt mit der **HCL**-Theorie aus

- den **Fundamentalkonstanten** h , c , $1/2\pi$, α und
- den **elementaren Krümmungsradien** a_0 und a_e (e)

Die Geschichte der **Gravitationskonstante G**

Max Planck

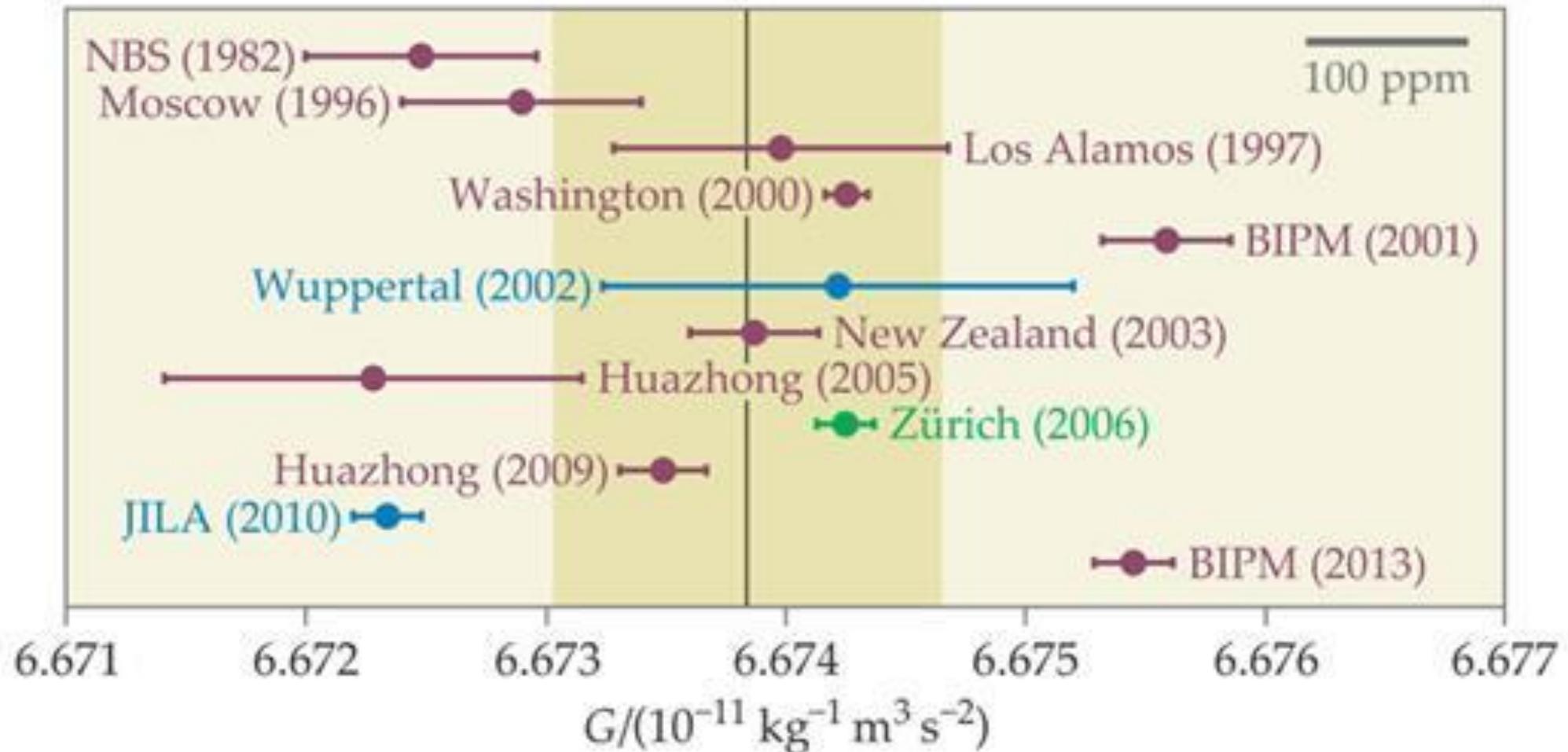
war davon überzeugt,

*„daß es den Menschen möglich ist, durch reines Denken
Aufschlüsse über Gesetzmäßigkeiten zu gewinnen.“*

Dieser Satz aus der „*Wissenschaftlichen Selbstbiographie*“
von Max Planck, J. A. Barth, Leipzig, 1970
steht auf der Seite 208 in

NATURKONSTANTEN – SCHLÜSSEL ZUM VERSTÄNDNIS DER WELT, die HCL-Theorie

Die Geschichte der **Gravitationskonstante G**



Die Geschichte der **Gravitationskonstante** G

Theoretische Vorhersagen werden experimentell überprüft

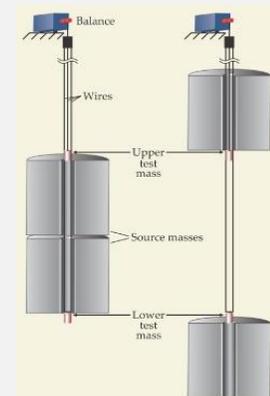
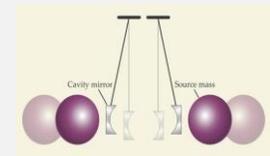
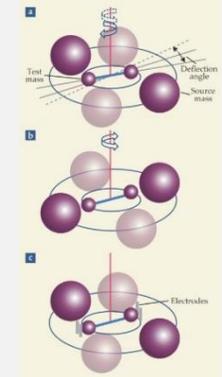
- **1. Washington** (2000) Mit **Messunsicherheit $7,4 \times 10^{-3}$ bisher genaueste Messung.**
(Torsionswaage) **Gundlach und Merkowitz** verringern die Messunsicherheit damit um den Faktor 500 gegenüber Cavendish in 200 Jahren.
- **2. Wuppertal** (2002) Die Auslenkung der im Abstand 24 cm angeordneten Pendel durch zwei Feldmassen je $M = 576$ kg misst ein Fabry-Pérot-Gravimeter.
(zwei Pendel) Die **Auslenkungen liegen bei 10^{-10} m**, also in der Größenordnung von Atomen.
- **3. Zürich** (2006) Der Massekomperator misst den Unterschied zwischen zwei Testmassen, moduliert mit 13,6-Tonnen Quecksilber. Messung von **Gewichtsdifferenzen über Massemessungen** mit der Auflösung 1 μg .
(Massekomperator)

Quellen: Texte aus „Schwere Experimente“ von Rothleitner und Schlamminger,

Die Geschichte der **Gravitationskonstante G**

Theoretische Vorhersagen werden experimentell überprüft

- **1. Washington** (2000) **Genaueste Messung mit Messunsicherheit $7,4 \times 10^{-3}$**
(Torsionswaage) Mit Torsionswaagen nach dem Cavendish-Prinzip erfolgten **70 %** der bisher \approx **300 Experimente** zur Bestimmung von **G** .
- **2. Wuppertal** (2002) Der Messwert stimmt sehr gut, aber die **Messunsicherheit ist hoch**. Das „Stützgerüst“ und der **Fabry-Pérot-Messresonator** sind zu verbessern.
- **3. Zürich** (2006) **Gewichtsdifferenzen über Massedifferenzen von $\approx 800 \mu\text{g}$** mit einer hohen Auflösungen der Waage von $1 \mu\text{g}$. Aus der Fallbeschleunigung g und der Massendifferenz folgt **G** .



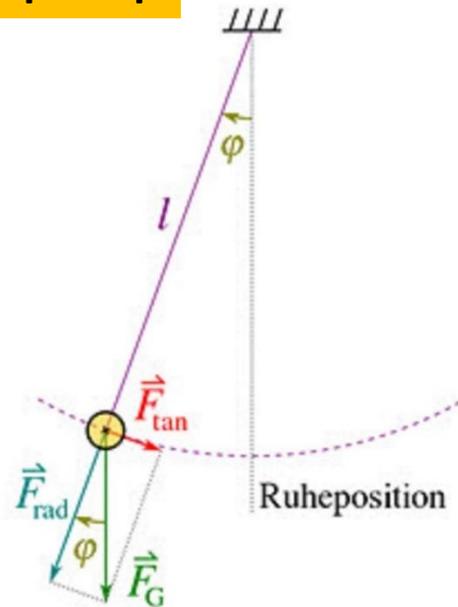
Quelle: „Schwere Experimente“ und „Gravitationskonstante – Herausforderung an die Messtechnik“ von Rothleitner und Schlamminger

Die Geschichte der Gravitationskonstante G

Zur genauen Bestimmung der Gravitationskonstante G mit Laser-Interferometer im Labor

siehe dazu auch den Artikel im Informationsblatt der Palitzsch-Gesellschaft von Dipl.-Ing. Peter Pohling Juli 2017

Messprinzip



Pendel-Auslenkung um den Winkel φ

Quelle: Wikimedia, Grafik: Stündle

Bestimmung von G an der Universität Wuppertal 2002

2 Feldmassen M mit 2×576 kg ziehen die 2 Pendelmassen mit $2 \times 3,30$ kg an

Diese Feldmassen bewirken einen Konstant-Radius $R_K = \sqrt{M/D_G} = 19,98$ m

eine Auslenkung der Pendel um $\Delta x = \Delta R \approx 1 \cdot 10^{-10}$ m

und einen Auslenkwinkel von $\varphi \approx 4 \cdot 10^{-11}$

$F_{tan} = F_G \cdot \varphi = gm \cdot \frac{\Delta x}{l}$ mit der Normalbeschleunigung $g = \omega_0^2 l = \left(\frac{2\pi}{T}\right)^2 l$

mit Newtons Beschleunigung: $G_N \frac{M}{R^2} = \omega_0^2 l \cdot \frac{\Delta x}{l}$ folgt: $G_N = \Delta x \omega_0^2 \cdot \frac{R^2}{M}$

Die Geschichte der **Gravitationskonstante** G

Bestimmung von G an der Universität Wuppertal 2002

Die Feld-Massen M konnten synchron von $R = 0,91$ m bis 2,30 m versetzt werden.
Damit sollte das Gravitationsgesetz bei unterschiedlichen Abständen überprüft werden.

Die Abstandsänderungen setzten sich zusammen aus einer
Abstandsänderung $\Delta x_{\text{Gravitation}}$ und einer
Abstandsänderung $\Delta x_{\text{Neigung}}$ infolge einer
„**vermuteten Neigung**“ des Wuppertaler Labor-Fundamentes:

*„Als Grund für eine **Neigung des Experimentes** ergab sich die **Deformation im Bereich des Stützgerüsts**,
ausgelöst durch die hohe Belastung des Bodens aufgrund der Feldmassen.*

*Da diese **Deformation des Fundaments** abhängig von der Feldmassenposition ist,
täuscht sie eine **entfernungsabhängige Abweichung vom Gravitationsgesetz** vor.*

*Im Rahmen dieser Arbeit wurde deshalb der funktionale Zusammenhang
zwischen **Neigung** und **Feldmassenposition** ermittelt,*

*so daß die **gemessenen Auslenkungen der Spiegel** entsprechend **korrigiert** werden können.*

*Da die **Neigung der Apparatur** zwar für die **Gravitationsmessungen** signifikant ist,
aber **absolut betrachtet** sehr klein,*

*war es nicht möglich die **Neigung** direkt mit einem **Neigungsmesser** aufzulösen“*

Quelle: **Ulf Kleinevoß**, Dissertation „**Bestimmung der Newtonschen Gravitationskonstante G** “,
Fachbereich Physik der Universität Wuppertal Januar 2002

Die Geschichte der **Gravitationskonstante** G

Zur **genauen Bestimmung der Gravitationskonstante G mit Laser-Interferometer im Labor**

siehe dazu auch den Artikel im Informationsblatt der Palitzsch-Gesellschaft von Dipl.-Ing. Peter Pohling Juli 2017

Bestimmung von G mit dem vollständigen Gravitationsgesetz

2 Feldmassen M mit 2 x 576 kg ziehen die 2 Pendelmassen mit 2 x 3,30 kg an

Die 2 Feldmassen mit dem **Konstant-Radius**

$$R_K = \sqrt{M/D_G} = 19,99 \text{ m}$$

haben von den Pendelmassen zwei Abstände:

$$R_{min} = 0,91 \text{ m}; R_{max} = 2,30 \text{ m}$$

Vollständige Beschleunigung $G \left(\frac{M}{R^2} + \frac{\sqrt{D_G M}}{R} \right) = \Delta x \omega_0^2$

$$= G \frac{M}{R^2} \left(1 + \frac{R}{R_K} \right)$$

$$G_N = \Delta x \omega_0^2 \cdot \frac{R^2}{M}$$

$$G = \Delta x \omega_0^2 \frac{R^2}{M} \cdot \frac{1}{1 + \frac{R}{R_K}}$$

$$\frac{G}{G_N} = \frac{1}{1 + \frac{R}{R_K}}$$

Die Geschichte der **Gravitationskonstante G**

Zur **genauen Bestimmung der Gravitationskonstante G** mit Laser-Interferometer im Labor

siehe dazu auch den Artikel im Informationsblatt der Palitzsch-Gesellschaft von Dipl.-Ing. Peter Pohling Juli 2017

Bestimmung von G mit dem **vollständigen Gravitationsgesetz**

2 Feldmassen M mit 2 x 576 kg ziehen die 2 Pendelmassen mit 2 x 3,30 kg an

Die Übergangsradien

$$R_K = \sqrt{M/D_G} \approx 20 \text{ m}$$

führen zu **Abweichungen** im Labor
als „**Neigungen**“

$$\frac{G}{G_N} = \frac{1}{1 + \frac{R}{R_K}}$$

Beachte:

Bei diesen Übergangsradien
unterscheiden sich die
Gravitations-Kräfte,
jedoch keinesfalls die
Gravitations-Beschleunigungen!

$$R = 0,20 \text{ m}$$

1,00 %

$$R_{\min} = 0,91 \text{ m}$$

4,40 %

$$R_{\max} = 2,30 \text{ m}$$

10,3 %

Die Relationen R / R_K bewirken
„**Abweichungen**“
gegenüber
„**Newton + Einstein**“,
das ergibt diese
„**Abweichungen der Meßwerte**“.

sowie zum **Fehlen** des „**Planeten Nine**“ im Sonnensystem
bzw. zu **23,0 %** „**Dunkler Materie**“ im Weltraum.

Die Geschichte der **Gravitationskonstante** G

Die **Beschleunigungswerte** bei den Experimenten zur genauen Bestimmung von G in den Laboratorien, befinden sich genau **im gleichen Bereich, wie die Feldstärken** in den Außenbereichen von Sonnensystemen, Galaxien, Galaxienhaufen und Universen.

Terry Quinn, ehemaliger Direktor des BIPM in Paris, mahnt:

“Künftig sollten wir unsere Anstrengungen und Ressourcen bündeln und ein großes Experiment auf den Weg bringen, bei dem alle Fachleute auf der Welt zusammenarbeiten.”

Wenn das „**große Labor-Experiment**“ auf den Weg gebracht wird, dann würde damit nicht nur

1. der **HCL-Vorhersagewert der Gravitationskonstante überprüft**. Dieses Experiment falsifiziert
2. die **Dunkle-Materie-Hypothese** und die **Planet-Nine-Hypothese** in einem Labor auf der Erde!

Die Geschichte der **Gravitationskonstante** G

Zusammenfassung

Was können wir aus der Geschichte der **Gravitationskonstante** lernen?

1. Die Naturgesetze der Physik haben immer **nur begrenzte Gültigkeitsbereiche,**
2. genauere Naturkonstanten ergeben einen **Vorhersagewert der Gravitationskonstante,**
3. G -Experimente werden hochgenau mit **LIGO-GW-Technologie und HCL-Dynamik,**
4. denn das HCL-Gravitationsgesetz benötigt
 - * **keine** „*Neigung*“ in einem Laboratorium,
 - * **keinen** „*Planet Nine*“ im Sonnensystem,
 - * **keine** „*Dunkle Materie*“ im Universum.

Vielen Dank

für Ihr Interesse und

Ihre Fragen und Meinungen zur

Gravitationskonstante und zu den Grundkräften

NATURKONSTANTEN

- SCHLÜSSEL ZUM VERSTÄNDNIS DER WELT -

DIE HCL-THEORIE

peter.pohling@freenet.de

www.naturkonstanten.de