

Feinstrukturkonstante: Neuer LKB-Wert, NIST-Glättungen und Prognose
(Fine structure constant: New LKB value, NIST smoothing and forecast)

Bernd Ganter

Abstract

This paper is about the new very precise measurement of the fine structure constant made by LKB in Paris ($\alpha = 137.035999206$) and the problem of it deviating substantially from the 2018 measurement from Berkeley ($\alpha = 137.035999046$).

We comment on the CODATA-values fixed by NIST from 1969 till today and compare the new value with the Ganter-prognosis for α based on information economy. (The derivation of that prognosis, $\alpha = 137.035999100$, can be found on viXra:1408.0018: Bernd Ganter, Die Entschlüsselung der Feinstrukturkonstante)

Kurzfassung

- Die Physiker haben die Suche nach der Herkunft von α aufgegeben.
- Dafür nehmen sie immer genauere Messungen von α vor.
- Ende 2020 löste eine Messung des LKB in Paris ($\alpha = 137,035999206$ mit 81 ppt) die bisherige genaueste, die aus Berkeley kam, ab.
- Unklar ist, warum die Messungen, obwohl auf gleicher Methode aufbauend, vom Standardmodell in unterschiedlichen Richtungen abweichen und sich die Unsicherheitsbereiche nicht überschneiden.
- In der Entwicklung der CODATA-Werte im Laufe der letzten 50 Jahre stellt man Ungereimtheiten fest, die als systematische Schöning in Form einer Glättung verstanden werden können.
- Die auf einer informationsökonomischen Herleitung basierende Ganter-Prognose ($\alpha = 137,035999100$) weicht vom LKB-Wert stärker ab als von den bisherigen Spitzenreitern aus Berkeley und Harvard.

1. Herkunft von α : Suche aufgegeben

“Physicists have more or less given up on a century-old obsession over where alpha’s particular value comes from; they now acknowledge that the fundamental constants could be random, decided in cosmic dice rolls during the universe’s birth.”

(Natalie Wolchover, Physicists Nail Down the ‘Magic Number’ That Shapes the Universe, Quanta Magazine, 2.12.2020, <https://www.quantamagazine.org/physicists-measure-the-magic-fine-structure-constant-20201202/>)

2. Präzisionsmessungen angesagt

“But a new goal has taken over. Physicists want to measure the fine-structure constant as precisely as possible.” (ebd.)

Anfang Dezember 2020 hat das Laboratoire Kastler Brossel (LKB) in Paris einen neuen Wert der Feinstrukturkonstante veröffentlicht, der nach eigenen Angaben der genaueste je gemessene und berechnete Wert und fast dreimal so genau wie der zuvor beste Wert, aus Berkeley, sein soll:

$\alpha = 137,035999206$ mit einer Genauigkeit von 81 ppt.

(vgl. Léo Morel, Zhibin Yao, Pierre Cladé & Saïda Guellati-Khélifa: Determination of the fine-structure constant with an accuracy of 81 parts per trillion; Nature, volume 588, pages 61–65 (2020), <https://www.nature.com/articles/s41586-020-2964-7>; 2.12.2020)

3. Berkeley Spitzenreiter 2018-20

Das LKB hatte im Januar 2019 noch festgestellt:

„ ... the three best available determinations of α :

- the measurement of LKB ...,
- the measurement using a_e from Harvard combined with the last calculation from Riken, and
- the recent measurement of h/m_{cs} from Berkeley.”

(Cladé, Nez, Biraben, Guellati-Khelifa,

State of the art in the determination of the fine structure constant and the ratio h/m_u , arXiv: 1901.01990v1, 2019, S.9)

Dass das LKB sich selbst damals an die Spitze der Liste setzte, war nicht ganz überzeugend, da es einräumen musste, dass “despite the different improvements made on the experiment since 2010, we are not yet able to present a new measurement due to the systematic effect ...” (a.a.O.).

Bis Anfang Dezember 2020 galt daher als genauester Wert der aus Berkeley (2018, <http://science.sciencemag.org/content/360/6385/191>), nämlich 137,035999046 mit seiner Genauigkeit von 0,2 ppb, die damals mehr als dreimal so groß war wie die des LKB, das die gleiche Messmethode (h/m) anwendet, aber mit Rubidium- (LKB) anstelle von Cäsiumatomen arbeitet.

Das NIST gewichtete 2019 zur Festlegung des neuen CODATA-2018-Wertes von 137,035999084 (<https://physics.nist.gov/cgi-bin/cuu/Value?alphinv>) mehrere Werte, wobei “the most important new input data for alpha is from Mueller/Berkeley“ (Mail von David Newell, NIST, vom 17.06.2019).

2019 gab das LKB seinen Wert noch an als $\alpha = 137,035998996(85)$. Dieser Wert lag, was die Ziffern 7-9 nach dem Komma angeht, mit einem Abstand von 88 zum CODATA-2018-Wert abgeschlagen hinter denen aus Berkeley mit 38 und Harvard/Riken mit 65.

4. Ende 2020 LKB neuer Spitzenreiter

Nunmehr stellt das LKB die anderen durch die Präzision seines Werts in den Schatten: „and determine the fine-structure constant $\alpha^{-1} = 137.035999206(11)$ with a relative accuracy of 81 parts per trillion.“ (Morel e.a., a.a.O.).

Die Genauigkeit von 0,081 ppb übertrifft jene von Müller mit 0,2 ppb und von Gabrielse/Aoyama (Harvard/Riken) mit 0,24 ppb um das Zweieinhalb- bis Dreifache, womit sich der Vorsprung umgekehrt hat.

Bis zum Eintreffen neuer Messungen dürfte daher der neue LKB-Wert als genauester Wert mit größtem Gewicht in eine neue Festlegung des für 2023 fälligen CODATA-Wertes (als CODATA 2022) eingehen.

5. Rätselhafte Abweichung zwischen Berkeley und Paris

Allerdings weist Müller aus Berkeley in seinem Artikel

„Standard model of particle physics tested by the fine-structure constant“

(<https://www.nature.com/articles/d41586-020-03314-0>; 2.12.2020)

auf eine Unstimmigkeit zwischen seiner und der LKB-Messung hin:

„However, there is a remaining puzzle ... there is a strong tension between Morel and colleagues' latest measurement and its two predecessors ... because the latest measurement and its predecessors deviate from the standard-model prediction in opposite directions.“

“According to Cladé [LKB], both the Paris and Berkeley experiments are based on the same physics, making the divergence all the stranger. <I don't think the discrepancy is due to the use of cesium or rubidium. There is probably something in one of the two experiments that may not have been accounted for.>“

(Dhananjay Khadilkar, <https://www.scientificamerican.com/article/physicists-achieve-best-ever-measurement-of-fine-structure-constant/> ; 16.12.2020)

Die LKB-Messung “differs from Müller's 2018 result in the tenth digit, a bigger discrepancy than the margin of error of either measurement.

This means ... that one or both of the measurements has an unaccounted-for error ...

In such precise experiments, every detail matters.

Table 1 of the new paper is an “error budget” listing 16 sources of error and uncertainty that affect the final measurement ... Much of the error budget comes from foibles of the laser, which the researchers have spent years perfecting.“

(Wolchover, a.a.O.)

6. Keine Überschneidung der „error bars“

Dass die genauesten Werte nicht übereinstimmen und außerhalb des Unsicherheitsbereichs des jeweils anderen liegen, ist nichts Neues.

Dies war zuvor schon der Fall, etwa beim CODATA-2018-Wert.

“the most important new input data for alpha is from Mueller/Berkeley.

There is some new theory, but I don't recall the impact being significant.

The next significant impact is spectroscopy input data from muonic systems and from Hessel that impact the Rydberg constant, the proton radius, and alpha.“

(Mail von David Newell, NIST, vom 17.06.2019)

Der Wert aus Berkeley (Müller, Parker) $\alpha = 137,035999046(27)$ deckt in den Ziffern 7-9 nach dem Komma einen Bereich zwischen 019 und 073 ab.

Der Wert aus Harvard/Riken (Gabrielse/Aoyama) $\alpha = 137,035999149(33)$ deckt in den Ziffern 7-9 nach dem Komma einen Bereich zwischen 116 und 182 ab.

Obwohl sich die Bereiche mangels Überschneidung mathematisch ausschließen, musste das NIST die Werte mangels besserer neben anderen als wesentliche zugrunde legen und gewichten, wobei als Ergebnis dann ein offiziell fixierter Wert von 084 herauskam. Dieser liegt außerhalb beider Unsicherheitsbereiche. Streng genommen bedeutet das, dass das NIST beiden Messungen bzw. deren Angaben über die jeweilige Unsicherheit numerisch widerspricht.

Auf die Problematik hatte auch das LKB in einem Beitrag im Internet im September 2017 hingewiesen, der heute leider nicht mehr verfügbar ist (wobei es um den Unterschied zwischen Berkeley und LKB auf der einen sowie Harvard/Riken auf der anderen Seite ging):

“In 2010 the two values $\alpha(a_e)$ and $\alpha(h/m)$ were in good agreement, but in 2015 new QED calculations have been performed which shifted the value of $\alpha(a_e)$, there is no more overlap between error bars especially if one considers the new value of the relative electron mass and the latest adjustments of the Rydberg constant and the rubidium mass. Using the value of the Rydberg constant derived from muonic hydrogen and 1S-2S transition experiments results in an even larger discrepancy. This makes the CODATA adjustment less reliable.”

(S. Bade, P. Cladé, e.a., Precise determination of the fine structure constant: impact on the new International System of Units, damals: <https://www.bipm.org/utils/common/pdf/WS.../S2/S2-9.pdf>)

7. “Glättungen” durch das NIST ?

“Many people are trying to fit the latest data mathematically, but fail to understand that CODATA is a statistic of experimental data and keeps changing.

The QED calculation itself is a supercomputer numeral fitting and also keeps changing. The reality of experimental data is that the fine structure constant measured using different methods will create slight differences.”

(Ke Xiao, Dimensionless Physical Constant Mysteries, viXra:1205.0050, 2012, S.6)

Die CODATA-Werte sind gewichtete und veränderliche Mischungen von experimentellen Werten, wobei die Unsicherheitsmarge (error bar) dieser vermittelnden CODATA-Werte, wie die Tabelle zeigt, zwar kontinuierlich abnimmt und im Laufe von 50 Jahren (1969-2019) auf ein Zehntausendstel (von 210.000 auf 21) minimiert wurde, aber die Unsicherheitsbereiche öfters durch nachfolgende Werte desavouiert werden.

Jahr	CODATA-Wert	Unsicherheit
1969	137,036020000	(210.000)
1973	137,036120000	(150.000)
1986	137,035989500	(6.100)
2002	137,035999760	(500)
2003	137,035999110	(460)
2006	137,035999679	(94)
2010	137,035999074	(44)
2014	137,035999139	(31)
2018	137,035999084	(21)

Bspw. liegt die Unsicherheit von 2014 außerhalb des Wertes von 2018 (in den letzten drei Ziffern): $139 - 31 = 108$. 84 liegt unterhalb des Unsicherheitsbereichs von 2014 (der von 108 bis 170 ging).

Noch unverständlicher ist die Entwicklung zwischen 2003 und 2010, wo 2006 (aus heutiger Sicht) ein Ausreißer festzustellen ist, der 2010 korrigiert wurde. Die letzten drei Ziffern waren zunächst um 569 gestiegen, dann um 605 gesunken, trotzdem stellte das NIST jeweils eine erhebliche Verkleinerung der Unsicherheitsbereiche fest.

Es stellt sich also die Frage, ob die Werte vom NIST nicht systematisch geschönt werden, um wissenschaftlichen Fortschritt anzudeuten.

8. Der LKB-Wert und die Ganter-Prognose

“Physicists have more or less given up on a century-old obsession over where alpha’s particular value comes from.” (Wolchover, a.a.O.)

Das ist bedauerlich, umso mehr als sich aus der Informationsökonomie ein genauer Wert (137,035999100) herleiten und begründen lässt (Bernd Ganter, Die Entschlüsselung der Feinstrukturkonstante, viXra:1408.0018), der ziemlich genau zwischen den Messungen aus Berkeley und Harvard liegt, allerdings dem neuen Wert aus Paris dahingehend widerspricht, dass er außerhalb des Unsicherheitsbereichs der LKB-Messung liegt, was aber auch, wie festgestellt, für die Messungen aus Berkeley und Harvard gilt. Kurioserweise liegt das Mittel des alten (Januar 2019) und neuen (Dez. 2020) LKB-Werts ziemlich genau an der Ganter-Prognose, nämlich bei $0,5 \cdot (137,035998996 + 137,035999206) = 137,035999101$.

Aus Sicht der Ganter-Herleitung und -Prognose sind die besten Werte noch immer die aus Harvard und Berkeley.

Zoltan Harman vom MPI Heidelberg teilte zur MPI-Ankündigung von 2016 (<https://www.mpi-hd.mpg.de/mpi/en/news/meldung/detail/neuer-weg-zur-feinstrukturkonstante/>) auf Anfrage am 26.01.2021 per Mail freundlicherweise mit:

„Das Experiment ist tatsächlich in Vorbereitung, bzw. wir Theoretiker arbeiten an den entsprechenden Rechnungen. Die Ionenfalle ALPHATRAP für die Messungen wurde gebaut und getestet, und die ersten Experimente sind damit durchgeführt worden ... Es wird noch Jahre dauern, bis wir die Feinstrukturkonstante bestimmen können - es war schon in 2016 klar, als wir die Idee veröffentlicht haben, dass es viel Arbeit ist. Es bleibt noch abzuwarten, ob wir so genau oder sogar noch genauer sein werden als die Methode der Pariser.“

Wenn es noch Jahre dauern wird, aber auch Harvard und Berkeley am Ball bleiben, bleibt dem Verfasser nur noch übrig, darauf zu wetten, dass sich der neue LKB-Wert nicht wird halten lassen, sondern sich α früher oder später, d.h. spätestens im Laufe der nächsten, von Harman genannten Jahre, im Bereich um die 100 einpendeln wird, hoffentlich möglichst nahe bei 99,966.

Denn die genaue **Ganter-Prognose** lautet: $\alpha = 137, 035 999 099 966$.