Physik im Studium

- Physik I & II, Physik der Materie I - III
- Übungen dazu
- EMMP I & II
- Theoretische Vorlesungen & Übungen
- Praktika
- Vorlesungen zu Wahlfächern (Festkörper, Oberflächen und Nanostrukturen; Extraterrestrische Physik; Astrophysik; Plasmaphysik)
- Bachelorarbeit

Einführung in die Physik Teil I:

Zwei Dozenten: Robert Wimmer-Schweingruber (Wi), Holger Kersten (Ke)

Wi: Einführung: Philosophisches und Handwerkszeug
Wi: Mechanik: Statik und Dynamik
Wi: Akustik
Ke: Wärmelehre (ab 14.12.)
Ke: Hydrostatik und -dynamik

Meine Folien finden Sie im OLAT:
`https://lms.uni-kiel.de/auth/RepositoryEntry/4390322207/CourseNode/1045`

Einführung in die Physik Teil I: Meine Folien

Diese Vorlesung im BBB

Diese Vorlesung wird auch in Big Blue Button (BBB) übertragen. Ich werde dessen Funktionalität auch für Umfragen nutzen. Sie können auch den Chat nutzen um Fragen zu stellen. Noch lieber sind mir aber mündliche Fragen!

Die Adresse für den BBB-Raum ist hier verlinkt:

`https://mediaportal01.rz.uni-kiel.de/b/sup-chy-wno-7pw`

Einführung in die Physik Teil II: (Sommersemester)

- Elektrostatik
- Elektrodynamik
- Optik

Physik der Materie I - III

- Atom- und Quantenphysik
- Kern- und Elementarteilchenphysik
- Festkörper

In dieser Vorlesung verwendete Literatur

- Feynman Lectures on Physics
- Handbook of Physics
- Gerthsen, Kneser, Vogel: Physik
- Demtröder: Experimentalphysik
- Bergmann, Schäfer: Mechanik, Akustik, Wärme (Band 1)

$\longrightarrow$ Bibliothek!

Physics Toolbox: Android & Apple

Dies ist ein schönes Spielzeug! Sie werden für die Vorlesung, Übungen und Klausur aber auch einen Taschenrechner benötigen. Für die Klausuren einen nicht-programmierbaren. Heute brauchen wir auch eine Stoppuhr(-App).

Was "ist" Physik?

- Modell der Natur
  - universell
  - "es war schon immer so"
- Kultur
  - "Aus was sind wir gemacht?"
    $\rightarrow$ Ursprung und Aufbau der Materie
  - "Von wo/was kommen wir?"
    $\rightarrow$ Ursprung und Aufbau von Raum und Zeit
- Gesellschaft, Medizin, Wirtschaft, "Zivilisation"

Modell der Natur

- Was macht den Tisch zum Tisch, den Stuhl zum Stuhl, den Stein zum Stein?
- Idee und Qualität
- Höhlengleichnis von Platon
- Der Einfluss von Modellen auf unser Denken
- Der Effekt der Gewöhnung (Meter, Atom, Elektron,. . .)

Wie “funktioniert” Physik?

- Natur lässt sich mathematisch beschreiben
- “exakte” Wissenschaft
- Modelle/Hypothesen sind überprüfbar (Experiment)
- Näherungen, Vereinfachungen in Anlehnung an Modellvorstellung
- Hypothesen und deren Falsifikation - und in Wirklichkeit?
- Gödel und die Intuition - und der Schweiß

“Das Buch der Natur kann man nur verstehen, wenn man vorher die Sprache und die Buchstaben gelernt hat, in denen es geschrieben ist. Es ist in mathematischer Sprache geschrieben, und die Buchstaben sind Dreiecke, Kreise und andere geometrische Figuren, und ohne diese Hilfsmittel ist es Menschen unmöglich, auch nur ein Wort davon zu begreifen.”

Galileo Galilei (1564 – 1642)

Der Massenpunkt als ideale Modellvorstellung

Modell für "reale" Objekte. Idealisierung eines ausgedehnten Körpers als mathematischer Punkt:

- hat deren Masse
- beliebig klein
- keine Rotationsfreiheitsgrade

Sinnvoll für die Beschreibung der Bewegung des Schwerpunktes eines Körpers.

Handwerkszeug der Physik

- Mathematik
- Messen
  - Grundlegende Größen (und wie kommt man drauf?)
  - SI-Einheiten
  - Fehler
- Analyse
- Interpretation

Mathematische Hilfsmittel

- Analysis
- Näherungen (Taylorreihenentwicklung)
- Algebra, Differentialgeometrie, Topologie, Gruppentheorie
- Wahrscheinlichkeitstheorie, Statistik
- Numerische Methoden

$\longrightarrow$ Vorlesungen der Mathematik, EMMP!

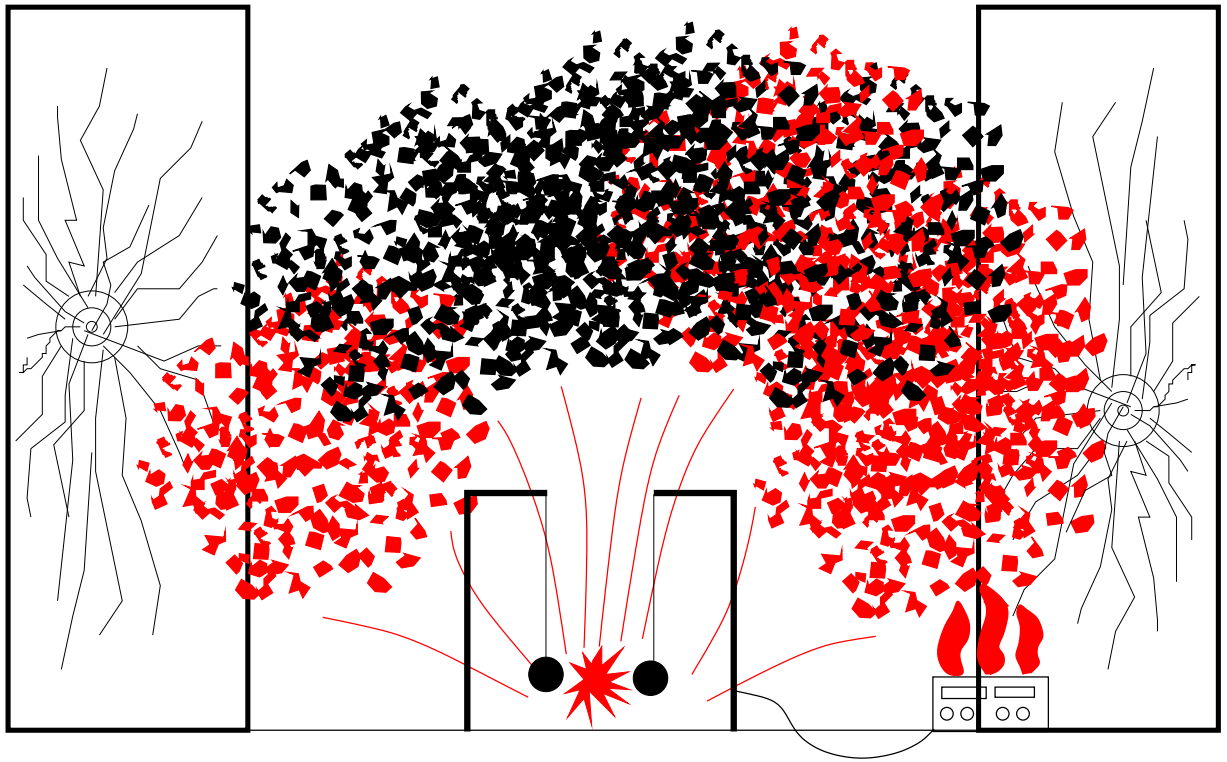
SI-Einheiten

Eine physikalische Größe G ist gegeben durch einen numerischen Wert $\{G\}$ und eine Einheit $[G]$: $G = \{G\} \cdot [G]$. Einige Größen sind einheitslos.
Definitionen: `https://physics.nist.gov/cuu/Units/current.html`

Grösse	Name der Einheit	Symbol
Länge	Meter	m
Masse	Kilogramm	kg
Zeit	Sekunde	s
Strom	Ampère	A
Temperatur	Kelvin	K
Stoffmenge	Mol	mol
Strahlungsintensität	Candela	cd

Tabelle 1: SI-Einheiten.

Fehler: Kein Experiment ist je völlig sinnlos - es kann immer als schlechtes Beispiel dienen!



Fehler I:

- unnötige Fehler: können durch Wiederholung des Experimentes behoben werden
- systematische Fehler: im Messapparat inhärent, oft schwierig abzuschätzen
- statistische (zufällige) Fehler: Fluktuationen von Experiment(ator) zu Experiment(ator), können durch Wiederholung des Experimentes bis zu einem gewissen Grad statistisch verringert werden
- "glückliche dumme" Fehler (äußerst selten, viele Gegenbeispiele!)

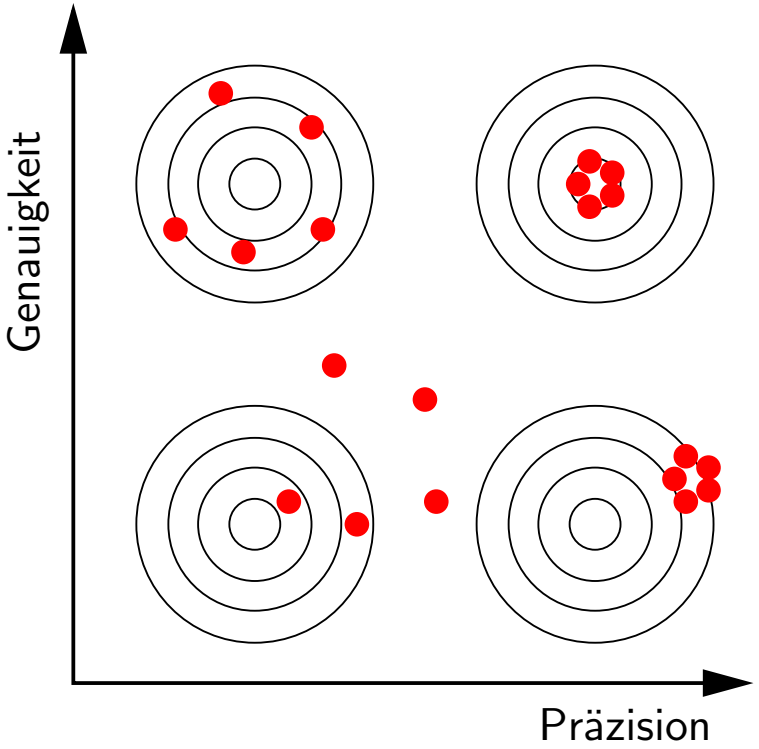
Fehler II:

Beispiel: Messung der Länge eines Tisches (direkte Messung)

- Messung ergibt 1,982 m
- Maßstab war bei 25°C geeicht, Messung fand bei 20°C statt: Expansionskoeffizient 0,0005/K
  Korrektur: Neues Resultat = altes Resultat mal $(1 - 5 \times 0{,}0005)$, also 1,977 m.
- Parallaxenfehler beim Ablesen: Systematisch 2 mm zu kurz gemessen, neues Resultat 1,979 m.

Fehler III:

- **Genauigkeit (Accuracy)**: Maß dafür, wie nahe das experimentelle Resultat am "wahren" Wert liegt.
- **Präzision (Precision)**: Maß dafür, wie gut die Messungen sind, kein Bezug zu einem "wahren" Wert.



Problem: Der "wahre" Wert ist nicht bekannt!

Fehler IV:

Ersetzen "wahren" Wert durch den "Mittelwert" $\bar{x}$.

$$\bar{x} \doteq \frac{1}{N}\sum_{i=1}^{N} x_i = \frac{1}{N}\left(x_1 + x_2 + \ldots + x_{N-1} + x_N\right)$$

Implizite Annahme: Wir messen genau!

Definition des arithmetischen Mittels der Messwerte.

Er wird sehr oft gebraucht, aber

Es geht auch anders. . .

Wahrscheinlichkeitsdichtefunktion $f(x)$ gibt die Wahrscheinlichkeit an, dass eine Messung x im Intervall zwischen x und $x + \mathrm{d}x$ liegt.

- f ist normiert

$$\int_{-\infty}^{\infty} \mathrm{d}x \; f(x) = 1$$

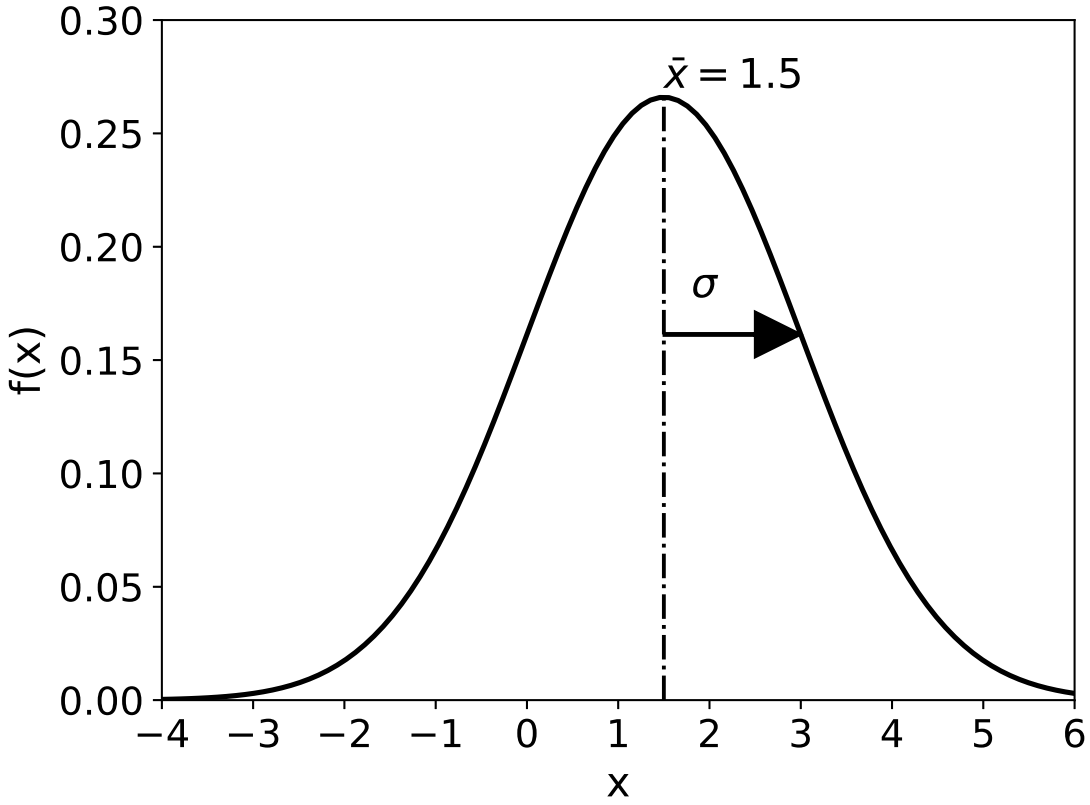
- Erwartungswert

$$\mathbf{E}(x) = \int_{-\infty}^{\infty} f(x) \; x \, \mathrm{d}x$$

- Varianz

$$\sigma^2 = \mathbf{E}((x - \mathbf{E}(x))^2)$$

Beispiel für $f(x)$: Die Gaußsche- oder Normalverteilung



$$f(x) = \frac{1}{\sqrt{2\pi\sigma^2}} e^{-\frac{(x-\bar{x})^2}{2\sigma^2}}$$

Beispiele für Wahrscheinlichkeitsverteilungen

- Moleküle im Gas

$$f(\vec{v}) = \frac{1}{N}\frac{\mathrm{d}N}{\mathrm{d}v} = 4\pi v^2 \left(\frac{m}{2\pi kT}\right)^{3/2} \; e^{\left(-\frac{mv^2}{2kT}\right)}$$

- Die Heisenbergsche Unschärferelation

$$\Delta x \cdot \Delta p \geq \frac{\hbar}{2}$$

Mittelwert und mittlerer Fehler der Einzelmessung

$$\bar{x} \doteq \frac{1}{N}\sum_{i=1}^{N} x_i = \frac{1}{N}\left(x_1 + x_2 + \ldots + x_{N-1} + x_N\right)$$

$$\sigma_x \doteq \overline{\delta x} = \sqrt{\frac{1}{N-1}\sum_{i=1}^{N}\left(x_i - \bar{x}\right)^2}$$

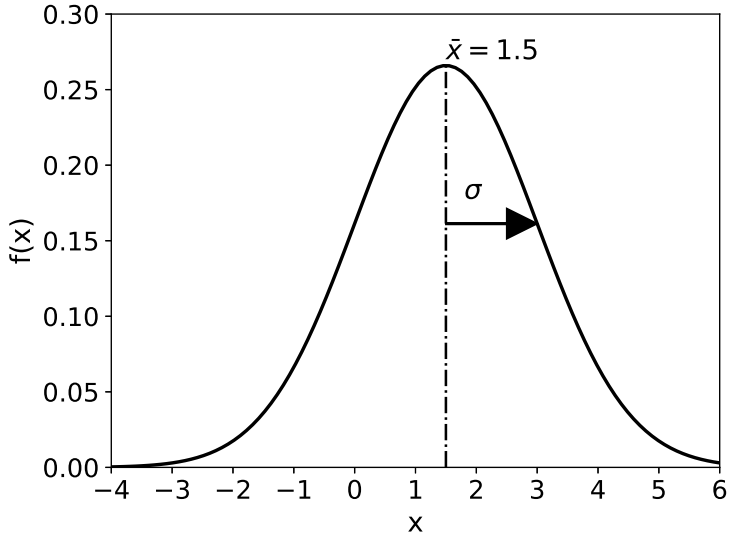
Mittlerer Fehler des Mittelwertes

$$\overline{\sigma_x} \doteq \overline{\delta\bar{x}} = \sqrt{\frac{1}{N(N-1)} \sum_{i=1}^{N} (x_i - \bar{x})^2}$$

Achtung: zentraler Grenzwertsatz!

Angabe des Messresultates: Resultat = $\bar{x} \pm \overline{\delta\bar{x}}$

Zentraler Grenzwertsatz



Seien $X_1, X_2, \ldots, X_N$ eine Menge von N unabhängigen zufälligen Variablen, wo X_i eine Wahrscheinlichkeitsdichtefunktion $P(x_1, x_2, \ldots, n_N)$ hat mit Erwartungswert μ_i und endlicher Varianz σ_i^2, dann hat die Größe

$$X_{\mathrm{Norm}} = \frac{\sum_{i=1}^{N} x_i - \sum_{i=1}^{N} \mu_i}{\sqrt{\sum_{i=1}^{N} \sigma_i^2}}$$

eine kumulative Verteilungsfunktion, welche für große N eine Normalverteilung annähert.

Indirekte Messungen

Beispiel: Durchschnittliche Fallgeschwindigkeit

$$\langle v \rangle = \frac{\Delta h}{\Delta t}$$

Fallhöhe Δh, Fallzeit Δt

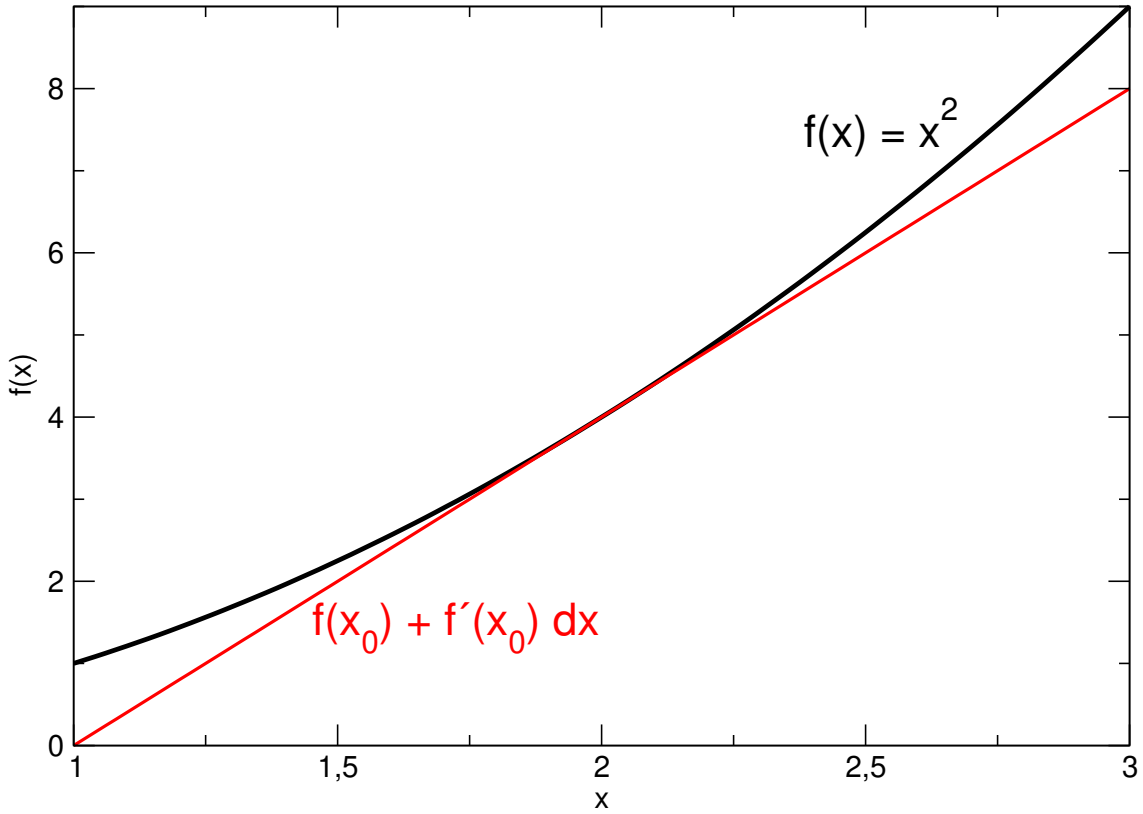
$\rightarrow$ direkte Messung von Δh und Δt (Urdaten im Protokoll festhalten!)

$\rightarrow$ indirekte Messung von $\langle v \rangle$

$\rightarrow$ Laden Sie z.B. die App "Physics Toolbox Sensor Suite" auf Ihr Handy und spielen Sie damit[1]!

[1] Zuunterst in der Liste finden sie ein paar schöne Anregungen! (Für Physiker...)

Fehlerfortpflanzung

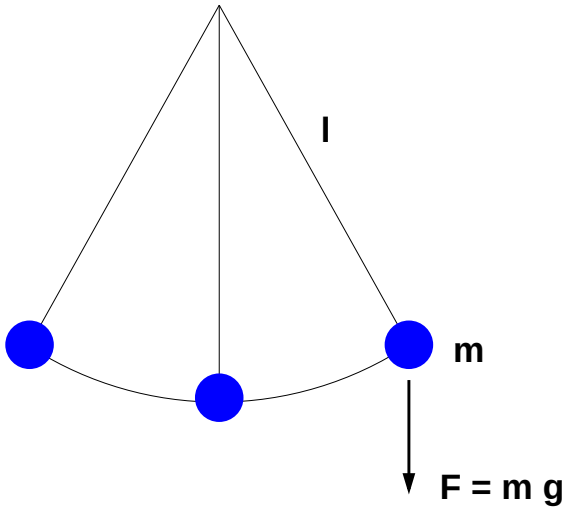


Fehlerfortpflanzung für den Fehler des Mittelwertes

$$\overline{\overline{\delta f(x_i)}} = \sqrt{\sum_{i=1}^{N} \left(\frac{\partial f}{\partial x_i}\right)^2 \overline{\delta x_i}^2}$$

“Ideales” Pendel und die Bestimmung von g

$$T = 2\pi\sqrt{l/g} \qquad \longrightarrow \qquad g = \frac{4\pi^2 l}{T^2}$$



“Ideales” Pendel und die Bestimmung von g II

$$\frac{\partial g}{\partial l} = \frac{4\pi^2}{T^2}$$

$$\frac{\partial g}{\partial T} = -2\frac{4\pi^2 l}{T^3}$$

$$\overline{\delta g} = \sqrt{\left(\frac{4\pi^2}{T^2}\right)^2 \bar{\delta l}^2 + 4\left(\frac{4\pi^2 l}{T^3}\right)^2 \bar{\delta T}^2}$$

Waren die Naturkonstanten immer gleich?

- Naturkonstanten
- Was kann variieren?
- Was kann man messen?
- Messungen
- Resultate

Ein Beispiel: Diracs Hypothese der großen Zahlen

P. A. M. Dirac hat in den 1930-er Jahren bemerkt, dass das Verhältnis der elektromagnetischen Anziehung zwischen Elektron und Proton zur Gravitation etwa $e^2/Gm_pm_e \approx 10^{40}$ beträgt, wie auch das Verhältnis von Radius des beobachtbaren Universums ($4{,}65 \cdot 10^{10}$ Lichtjahre) zum Elektronenradius (10^{-15} m) und auch die Wurzel aus der Anzahl Baryonen im Universum, $\sqrt{N_B} \approx \sqrt{10^{80}} = 10^{40}$. Wenn dies kein Zufall ist, so sein Gedankengang, müsste diese Zahl immer dieselbe bleiben. Weil aber das Universum sich ausdehnt, würde dies bedeuten, dass sich die anderen Größen ändern müssten, insbesondere schlug er vor, dass sich die Gravitationskonstante ändern könnte, $G_N \sim 1/t$. Er hätte auch vorschlagen können, dass sich die Größe e^4/m_e^2 wie $\sim t$ ändert.

Heute ist diese Hypothese widerlegt worden.

Naturkonstanten und deren Einheiten

Größe	Symbol	Einheit
Lichtgeschwindigkeit	c	m/s
Elektronenladung	e	C
Elektronenmasse	m_e	kg
Plancksches Wirkungsquantum	$\hbar$	Js $=$ kg m^2/s
Gravitationskonstante	G_N	N m^2/kg^2 $=$ m^3/(kg s)
Feinstrukturkonstante	α	-
...	...	...

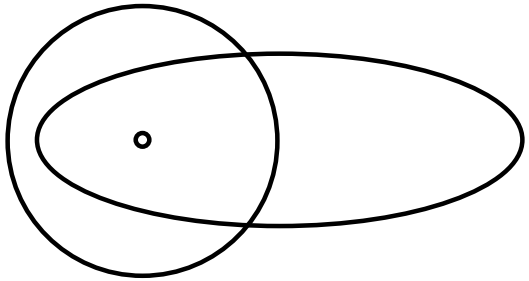
Tabelle 2: Symbole und Einheiten einiger Naturkonstanten.

Was für Änderungen können gemessen werden?

Bsp.: Änderung der Lichtgeschwindigkeit: c sei in der Vergangenheit niedriger gewesen. Damit wird auch $E_e = m_e c^2$, die Ruhemasse des Elektrons niedriger.
Virialsatz: Wasserstoffatom instabil falls $2E_e$ kleiner wird als die Bindungsenergie $E_b = m_e e^4/(2(4\pi\varepsilon_0)^2\hbar^2)$. Wird $2E_e$ kleiner, so wird das Proton in ein Wasserstoffatom und ein Positron zerfallen $\longrightarrow$ beobachtbar!
Auf was kommt es an? Das Verhältnis $E_b/2E_e = e^4/(4(4\pi\varepsilon_0)^2\hbar^2c^2) = \alpha^2/4$, eine dimensionslose Größe!

$\Longrightarrow$ **Nur Änderungen einheitsloser Konstanten können gemessen werden!**

Die Feinstrukturkonstante



In der Quantenphysik werden Sie ein über das Bohrsche Atommodell hinausgehendes Atommodell von Sommerfeld kennenlernen, in welchem die Elektronen nicht auf Kreisbahnen, sondern auf Ellipsen um den Kern kreisen. Selbst wenn dieses Modell heute überholt ist, so hat es doch einen wesentlichen Bestandteil der modernen Quantentheorie erstmals erklären können, die Entartung der Energiezustände in einen Atom. Dabei spielt die dimensionslose Kombination $\alpha = \frac{1}{4\pi\varepsilon_0}\,\frac{e^2}{\hbar c} \approx \frac{1}{137}$, die sog. **Feinstrukturkonstante**, eine wichtige Rolle. Heute wissen wir, dass die Entartung der Energiezustände auf die Spin-Bahn Kopplung der Elektronen zurückzuführen ist.

Die Feinstrukturkonstante II

Die Feinstrukturkonstante kann auch verstanden werden als Verhältnis der Energie, die es braucht um zwei Elektronen von unendlich weit weg bis auf einen Abstand s aneinander zu bringen und der Energie eines Photons mit Wellenzahl $k = 1/s$.

$$\alpha = \frac{\frac{1}{4\pi\epsilon_0}\frac{e^2}{s}}{\frac{hc}{2\pi s}} = \frac{1}{4\pi\epsilon_0}\frac{e^2}{s}\frac{2\pi s}{hc} = \frac{e^2}{2\epsilon_0 hc} = \frac{e^2}{4\pi\epsilon_0\hbar c}$$

In der Quantenelektrodynamik spielt α die Rolle einer sog. Kopplungskonstante, ähnlich wie die elektrische Ladung für die elektrische Anziehung oder die Gravitationskonstante für die Gravitation.

Änderungen der Feinstrukturkonstanten: Natürliche Reaktoren

Vor etwa 2 Milliarden Jahren fanden in Oklo in Gabun Kernreaktionen in einem natürlichen Kernreaktor statt. Dabei entstanden als Spaltprodukte u. a. ^{149}Sm und ^{147}Sm mit denen man Variationen in α untersuchen kann, weil dabei eine Resonanzreaktion eintritt, in deren Wirkungsquerschnitt α empfindlich eingeht. Aus dem Verhältnis ^{149}Sm zu ^{147}Sm kann dann auf diesen Wirkungsquerschnitt von 2 Milliarden Jahren geschlossen werden.

Vergleich mit dem heutigen Wert erlaubt es, Grenzen an mögliche Variationen zu setzen:

$$|\Delta\alpha/\alpha| < 5 \times 10^{-10}.$$

Änderungen der Feinstrukturkonstanten: Meteorite

Ähnlich kann man auch Grenzen setzen, indem man langlebige Radioisotope wie ^{187}Rh, ^{235}U oder ^{238}U in Meteoriten untersucht. ^{187}Rh (Rhodium) ist ein β-Strahler mit einer Zerfallsrate λ, die von der durch den Zerfall freigesetzten Energie Q abhängig ist, $\lambda \propto Q^n$. Weil diese aber wieder von der Coulombenergie abhängt, ergibt sich hier wieder ein Test für eine zeitliche Variation von α. Weil $\Delta\lambda/\lambda = n(Q/\Delta Q)$, ist es sinnvoll, einen Zerfall zu nehmen, bei dem Q sehr klein ist. Dies ist für ^{187}Rh der Fall. Man findet daraus über das Alter des Sonnensystems von 4.57 Milliarden Jahren

$$|\Delta\alpha/\alpha| < (2.7 \pm 2.7) \times 10^{-8}.$$

Zusammenfassung

Andere Möglichkeiten wie z. B. kosmologische Uhren, Atomuhren, etc. begrenzen die Variationen von α stark, allerdings gibt es neuerdings Indizien, dass sich α im frühen Universum geändert haben könnte! Die Grenzen an eine Änderung sind aber sehr eng, $\dot{\alpha}/\alpha = (-1{,}6 \pm 2{,}3) \cdot 10^{-17}$ pro Jahr[2].

[2] Rosenband et al., Science, **319**, 1808-1812, (2008)

Übungen

1.) Überprüfen Sie, dass die Feinstrukturkonstante α tatsächlich einheitslos ist.

2.) Gegeben zwei radioaktive Stoffe A und B mit Halbwertszeiten $T_{A1/2}$ und $T_{B1/2}$, die zum Zeitpunkt $t = t_0$ im Verhältnis $(A/B)_0$ gemischt seien. Zu einem späteren Zeitpunkt t wird ein Verhältnis $(A/B)_2$ gemessen. Wie alt ist die Probe?

3.) Lösen Sie mindestens eine Aufgabe aus Demtröder, Gerthsen, oder einem anderen Buch!

4.) Besuchen Sie die Bibliothek und schauen Sie sich das Angebot an.