

# Planck-Skala

Die **Planck-Skala**, benannt nach **Max Planck**, markiert eine Grenze für die Anwendbarkeit der bekannten Gesetze der **Physik**. Auf Distanzen der Größenordnung der **Planck-Länge** (ca.  $10^{-35}$  m) müsste die Physik mit Hilfe einer **Quantentheorie der Gravitation** beschrieben werden, die bisher nur in Ansätzen existiert. Bei Teilchen mit **Energien** auf der Skala der Planck-Masse wird die **Compton-Wellenlänge**  $\lambda = \frac{h}{mc}$  vergleichbar mit dem **Schwarzschild-Radius** und die Planck-Masse ergibt sich zu (siehe unten):

$$m_P = \sqrt{\frac{\hbar c}{G}} \approx 1,2209 \cdot 10^{19} \text{ GeV}/c^2 = 2,176 \cdot 10^{-8} \text{ kg}$$

Der empfohlene **CODATA-Wert** für die Planck-Masse ist<sup>[1]</sup>  $2,176\ 51(13) \cdot 10^{-8} \text{ kg} = 2,17651 \cdot 10^{-8} \text{ kg} \pm 0,00013 \cdot 10^{-8} \text{ kg}$ . Es kommt aber bei der Planck-Masse nur auf die Größenordnung an.

In der Teilchenphysik und Kosmologie wird auch häufig die „reduzierte Planck-Masse“ verwendet, die sich nur durch einen konstanten Faktor von der Planck-Masse unterscheidet:

$$\sqrt{\frac{\hbar c}{8\pi G}} \approx 4,340 \text{ } \mu\text{g} = 2,43 \cdot 10^{18} \text{ GeV}/c^2.$$

Entsprechend lassen sich weitere Größen der Planck-Skala (Planck-Einheiten) aus den drei grundlegenden Naturkonstanten, der **Gravitationskonstante**  $G$ , der **Lichtgeschwindigkeit**  $c$  und dem **planckschen Wirkungsquantum**  $\hbar$  konstruieren. Die Planck-Zeit ergibt sich z. B. aus der Zeit, die das Licht benötigt die Planck-Länge zu durchlaufen ( $c$  ist die obere Grenzgeschwindigkeit jeglicher Signalausbreitung):  $t_P = l_P/c \sim 10^{-43}$  s.

## 1 Größenordnungen

Die Planck-Länge  $l_P$  ist um einen Faktor von etwa  $10^{20}$  kleiner als der Durchmesser des Protons und damit weit jenseits einer direkten experimentellen Zugänglichkeit. Wollte man derartig kleine Strukturen mit einem **Teilchenbeschleuniger** untersuchen, so müsste die **De-Broglie-Wellenlänge**  $\frac{h}{p}$  der verwendeten Teilchen vergleichbar mit  $l_P$  sein, bzw. ihre Energie vergleichbar mit  $E_P$ . Die über  $E = mc^2$  zugeordnete Masse wäre über  $10^{16}$  mal so groß wie die Masse des schwersten bekannten **Elementarteilchens**, des **Top-Quarks**. Ein entsprechender Beschleuniger hätte mindestens den Durch-

messer unseres **Sonnensystems**. Der einzige denkbare Prozess, bei dem vergleichbare Energien aufgetreten sein könnten, ist das **Universum** ungefähr eine Planck-Zeit nach dem hypothetischen **Urknall**. Die Planck-Masse ist sogar fast schon auf der „menschlichen“ Größenskala – ein Floh wiegt 4000 bis 5000 Planck-Massen.

## 2 Ableitung der Planckmasse

Wie oben bereits angedeutet, führt die gleichzeitige Anwendung der Gesetze der **Quantenmechanik** und der **Allgemeinen Relativitätstheorie** bei hinreichend kleinen räumlichen und zeitlichen Abständen zu Problemen, wie die folgende Überlegung zeigt: Befindet sich ein Objekt oder Teilchen in einem Raumgebiet mit dem Durchmesser  $\Delta x$ , so ist aufgrund der **Unschärferelation** sein **Impuls** nur bis auf  $\Delta p$  genau bestimmt, wobei

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

gilt. Das bedeutet, dass der Impuls mindestens Werte im Bereich bis  $\Delta p = \frac{\hbar}{2\Delta x}$  annehmen muss. Selbst für ein Teilchen ohne **invariante Masse** ist damit eine **Energie**  $E$  und daher auch eine **Mindestmasse**  $m$  verbunden, wobei

$$mc^2 = E = \Delta pc = \frac{\hbar c}{2\Delta x}$$

Befindet sich die Masse  $m$  in einem Raumgebiet mit einem Radius kleiner als ihr **Schwarzschildradius**

$$r = \frac{2Gm}{c^2}$$

so wird sie zum **Schwarzen Loch**. Das ist durch die Wahl eines hinreichend kleinen  $x$  erreichbar, denn mit einer Verkleinerung von  $\Delta x$  wächst  $\Delta p$  und damit auch  $m$  und  $r$  bis schließlich  $r \approx \Delta x$  wird. Diese Situation entzieht sich jedoch einer Beschreibung durch die bekannte Physik. Man erhält die Formel für die Planck-Länge und Planck-Masse der Größenordnung nach, indem man  $r = \Delta x$  setzt und die beiden letzten Gleichungen nach  $r$  und  $m$  auflöst.

### 3 Literatur

- Giovanni Amelino-Camelia: *Planck scale effects in astrophysics and cosmology*. Springer, Berlin 2005, ISBN 3-540-25263-0
- Richard L. Amoroso: *Gravitation and cosmology - from the Hubble radius to the Planck scale*. Kluwer Academic, Dordrecht 2002, ISBN 1-4020-0885-6
- Nick Huggett, Craig Callender: *Physics meets philosophy at the Planck scale - contemporary theories in quantum gravity*. Cambridge Univ. Press, Cambridge 2001, ISBN 0-521-66445-4

### 4 Einzelnachweise

- [1] *CODATA Recommended Values*. National Institute of Standards and Technology, abgerufen am 21. Juni 2011. Wert für die Planck-Masse

### 5 Weblinks

- *Was ist die Planck-Welt?* aus der Fernseh-Sendereihe *alpha-Centauri* (ca. 15 Minuten). Erstmals ausgestrahlt am 21. Juli 2004.

## 6 Text- und Bildquellen, Autoren und Lizenzen

### 6.1 Text

- **Planck-Skala** *Quelle:* <http://de.wikipedia.org/wiki/Planck-Skala?oldid=138674453> *Autoren:* Anton, Boehm, Gerhardvalentin, Johnny Yen, Jah, Pjacobi, He3nry, Allander, Leyo, Flingeflung, GluonBall, I-user, KaiMartin, MrBurns, Tinz, Markus Mueller, Euku, Stefan-Pohl, Wrongfilter, Revvar, GMH, PixelBot, FBE2005, MichaelSchoenitzer, Hendrik J., Nanotrix, Orci, Jkdecke, Ds-Mad-H, Complex, Rsling, SDB, Gravitophoton, Claude J, Melethron, Fetter Ekelbert, Umherirrender, PipepBot, Hidden, Kein Einstein, Luckas-bot, Mmmngb, HRoestBot, Antonsusi, Tillmann Walther, Debenben, ZéroBot, Turnstange, Addbot und Anonyme: 23

### 6.2 Bilder

- **Datei:Disambig-dark.svg** *Quelle:* <http://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/e/ea/Disambig-dark.svg> *Lizenz:* CC-BY-SA-3.0 *Autoren:* Original Commons upload as Logo Begriffsklärung.png by Baumst on 2005-02-15 *Ursprünglicher Schöpfer:* Stephan Baum
- **Datei:Merge-arrows.svg** *Quelle:* <http://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/5/52/Merge-arrows.svg> *Lizenz:* Public domain *Autoren:* ? *Ursprünglicher Schöpfer:* ?

### 6.3 Inhaltslizenz

- Creative Commons Attribution-Share Alike 3.0