

## Die Masse der Sichtbaren Welt.

Das sichtbare Universum verdankt mehr als 99% seiner Masse den Protonen und Neutronen, aus denen die Atomkerne aufgebaut sind. Die Protonen und Neutronen (zusammenfassend Nukleonen genannt) sind jedoch keine Elementarteilchen. Sie bestehen vielmehr aus Quarks, die von den sogenannten Gluonen zusammengehalten werden. Gluonen sind masselose Teilchen und die Quarks tragen nur ca. 5% zur Masse der Nukleonen bei. Der wesentliche Teil der Masse der sichtbaren Materie hat also einen anderen Ursprung.

Die Theorie, welche die Dynamik der Quarks und Gluonen quantitativ beschreibt, trägt den Namen „Quantenchromodynamik“ (QCD). Im Prinzip sollte diese Theorie den Ursprung der restlichen ca. 95% der Masse der Nukleonen erklären. Es ist jedoch ausgesprochen schwierig aus den Gleichungen der QCD Massen zu errechnen. Dies hat einen physikalischen Grund: die Gluonen wechselwirken nicht nur mit den Quarks, sondern auch untereinander. Dadurch werden die Verhältnisse „innerhalb“ der Nukleonen äußerst kompliziert. Zudem ist, gemäß der Heisenbergschen Unschärferelation und Einsteins spezieller Relativitätstheorie, die Gesamtzahl der Teilchen in einem Nukleon nicht konstant. Vielmehr tauchen permanent „virtuelle“ Quarks und Gluonen aus dem Vakuum auf und verschwinden sofort wieder. Dieser Effekt trägt ebenso zur Masse der Nukleonen bei.

In meiner Arbeit habe ich verbesserte Algorithmen und „Darstellungen“ der Theorie für Computersimulation entwickelt und untersucht. Mit diesen Verfahren konnte eine kontrollierte Berechnung der Masse von Protonen und Neutronen bereits auf den derzeitigen Supercomputern durchgeführt werden. (Mit solchen Rechnungen sind durchaus mehrere 100.000 CPUs im Verbund beschäftigt.)

Das Ergebnis<sup>1</sup> und „Hauptresultat“ meiner Dissertation: Über 95% der Protonen- und Neutronenmasse, und damit der Masse alltäglicher Materie, besteht über Einsteins berühmte Formel  $E = mc^2$  direkt aus der kinetischen Energie der leichten Quarks und selber masselosen Gluonen.

---

<sup>1</sup> *Science* 322, p. 1224