

Vakuumfluktuationen

Der Grundzustand des elektromagnetischen Feldes heißt "Vakuum". Aber das Vakuum ist nicht leer! In Zuständen des elektrischen Feldes mit keinem Photon (Photonenzahl $N = 0$) ist der Erwartungswert (Mittelwert) $\langle \mathbf{E} \rangle$ der elektrischen Feldstärke stets 0. Doch sind mit diesem Mittelwert Schwankungen des elektrischen Feldes verbunden, so dass z.B. der Erwartungswert $\langle |\mathbf{E}|^2 \rangle \neq 0$.

Vakuumfluktuationen haben eine Reihe von nachweisbaren Effekten

- a) Sie sind für spontane Emission von Photonen bei angeregten Zuständen von Atomen verantwortlich.
- b) Sie sorgen dafür, dass sich zwei gegenüberstehende Metallplatten gegenseitig anziehen (Casimir-Effekt; Casimir 1948). Das zwischen den Metallplatten eingeschlossene "Vakuum" kann Energie verlieren, indem es die beiden Platten einander annähert.
- c) Sie sind die Ursache für Van-der-Waals-Kräfte in Molekülen und zwischen Resonatorwänden (s.o.).
- d) Es gibt bestimmte, sehr kleine Verschiebungen von Energieniveaus in Atomen gegenüber mit einem einfacheren Modell gerechneten Werten, die so genannte Lamb-Shift. Sie lässt sich qualitativ auf Vakuumfluktuationen zurückführen. Zusammen mit verwandten Erscheinungen, wie der "Vakuumpolarisation", können sie die Lamb-Shift quantitativ mit sehr hoher Präzision erklären. Ein Modell für die Vakuumpolarisation besagt, dass ein Photon kurzzeitig ("virtuell") ein Elektron-Positron-Paar erzeugen kann, das sofort wieder vernichtet wird unter Erzeugung eines Photons. Auch hier fluktuiert also das elektromagnetische Feld durch die Photonenzahl.
- e) Am Ereignishorizont eines schwarzen Loches entstehen durch Vakuumfluktuationen virtuelle Teilchen, die durch das starke Gravitationsfeld getrennt werden. Dadurch kommt es zur sogenannten Hawkingstrahlung, die thermischer Natur ist und zu einer langfristigen Verdampfung von schwarzen Löchern führt.