

Joachim Stiller

# Zum Modell des Dirac-Sees

Wissenschaftliche Arbeit, geschrieben am 27.10.2009

Copyright by Joachim Stiller  
Alle Rechte vorbehalten

# Der Dirac-See

„Der Dirac-See ist ein (überholtes) theoretisches Modell, welches das Vakuum als einen unendlichen „See“ von Teilchen mit negativer Energie beschreibt. Es wurde vom britischen Physiker Paul Dirac 1900 entwickelt, um die anormalen Quantenzustände negativer Energie, die in der Dirac-Gleichung für relativistische Elektronen vorhergesagt werden, zu erklären. Das Positron, das Antiteilchen zum Elektron, wurde ursprünglich als Loch im Dirac-See beschrieben, bevor es 1932 experimentell nachgewiesen werden konnte.

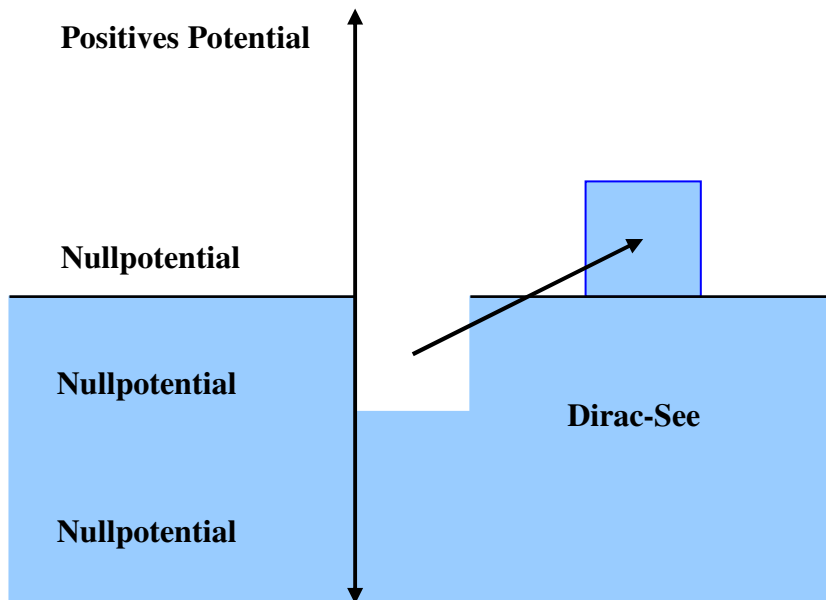
Der Ursprung des Dirac-Sees liegt im Energiespektrum der Dirac-Gleichung. Diese ist die allgemeinere Form der Schrödinger-Gleichung, unter Berücksichtigung der Speziellen Relativitätstheorie (SRT). Sie wurde durch Dirac 1928 formuliert. Obwohl die Gleichung sehr erfolgreich bei der Beschreibung der Elektronenbewegung war, besitzt sie doch eine eigentümliche Eigenschaft: Für jeden Quantenzustand mit positiver Energie  $+E$  gibt es einen korrespondierenden Zustand mit der Energie  $-E$ . Das ist unproblematisch, wenn man ein isoliertes Elektron betrachtet, da dessen Energie erhalten bleibt und man einfach festlegen kann, keine Elektronen negativer Energie zu verwenden. Problematisch wird es, wenn man die Effekte des elektromagnetischen Feldes berücksichtigen möchte. Ein Elektron mit positiver Energie könnte durch kontinuierliche Emission von Photonen Energie abgeben. Dieser Prozess könnte ohne Limit fortgeführt werden, wobei das Elektron immer tiefere Energiezustände einnimmt. Da es keine untere Grenze für diese negativen Energiezustände gibt, könnte somit ein Elektron unendlich viel Energie abstrahlen. Reale Elektronen verhalten sich eindeutig nicht so.“ (Wikipedia: Stichwort Dirac-See)

Dirac selber meinte dazu, dass, selbst wenn das Elektron durch die Emission von Photonen Energie verliert, sei es verboten, unter die Grenze einer Energie von Null zu fallen. Ist hingegen ein Zustand negativer Energie „unbesetzt“, was im Rahmen von Diracs Theorie als Positron interpretiert wird, so kann das Elektron unter Abgabe der Energiedifferenz in Form von Photonen in dieses „Loch“ hineinfallen. Meist werden 2 Photonen mit der für diesen Vorgang typischen Energie von je 511 keV emittiert, das Elektron-Positron-Paar verschwindet dabei. Dieser Vorgang wird als „Annihilation“ bezeichnet.

Ich möchte an dieser Stelle einmal eine Lanze für das Modell des Dirac-Sees brechen und den Versuch machen, dieses Modell zu rehabilitieren. Der Dirac-See hat gegenüber der sogenannten Feynmann-Stückelberg-Interpretation den Vorteil, erheblich einfacher und anschaulicher zu sein. Das Modell ist durchaus in der Lage, zu erklären, warum Teilchen immer paarweise auftreten (Teilchen und Antiteilchen). Dass es nicht erklären kann, warum im Weltall mehr Teilchen als Antiteilchen vorhanden sind, ist insofern nicht so entscheidend, weil dies die Feynmann-Stückelberg-Interpretation auch nicht kann. Auf die Frage nach dem Ursprung der gebrochenen Symmetrie gibt es noch keine Antwort.

Das Modell des Dirac-Sees stellt sich für mich als erheblich einfacher dar, als die Feynmann-Stückelberg-Interpretation eines rückwärts laufenden Filmes. Ich würde ersterer immer den Vorzug geben. Wichtig ist mir nur, den Dirac-See ein kleines bisschen anders zu interpretieren, als dies eingangs dargestellt wurde. Demnach stellt der Dirac-See zwar das Vakuum dar, aber als eine Art Nullpotential. Alle besetzten Plätze des Dirac-Sees sind mit Nullpotentialen belegt. Die Oberfläche des Vakuums stellt somit die Grenze des Nullpotential-Sees dar. Ein Elektron könnte niemals unter diese Grenze fallen. Wenn man nun ein Potential in den positiven Bereich hebt, schafft man an der Stelle einen freien Platz, der dann als Antiteilchen auftritt. Teilchen und Antiteilchen entstehen somit immer paarweise. Es ist in etwa so, als ob

man im Sandkasten mit der Hand ein Loch gräbt und den Sand etwas weiter wieder aufschüttet. Der Haufen stellt nun das Teilchen (Elektron) dar, das Loch das Antiteilchen (Positron). Das Teilchen kann also tatsächlich nur verschwinden, wenn es wieder in das Loch zurückfällt, aus dem es genommen wurde. Ich persönlich möchte gerne „in erster Instanz“ (hier wieder mein Instanzendenken) das Modell des Dirac-Sees vertreten. Ob man dann in „zweiter Instanz“ noch auf die Feynmann-Stückelberg-Interpretation zurückgreift, müsste man einmal gesondert untersuchen.



Joachim Stiller

Münster, 27.10.2009

Ende

[Zurück zur Startseite](#)