

199 Das eine und das andere Elektron

ZUSAMMENFASSUNG

Die Vorstellung, dass das Elektron ein kleines, oder sogar punktförmiges Körperchen ist, stellt ein Hindernis beim Erlernen der Quantenmechanik dar.

Gegenstand

Der Hamiltonoperator eines Mehrelektronenatoms enthält die Koordinaten der einzelnen Elektronen: r_1 gehört zu Elektron 1, r_2 gehört zu Elektron 2, usw. Das Pauliprinzip verlangt, dass die Wellenfunktion solcher Mehrelektronensysteme antisymmetrisch ist: Bei Vertauschung von zwei Teilchenkoordinaten wechselt sie das Vorzeichen. Im Fall eines Zweielektronensystems, unter der Annahme, dass die Zweiteilchenwellenfunktion als Produkt von zwei Eineteilchenwellenfunktionen geschrieben werden kann, hat man

$$\psi(1,2) = \frac{1}{\sqrt{2}} [\psi_a(1)\psi_b(2) - \psi_a(2)\psi_b(1)]$$

Die 1 und die 2 stehen für die Koordinaten der beiden Elektronen, a und b stehen für die Zustände der beiden Elektronen.

Mängel

Man sagt in diesem Zusammenhang, man habe es zu tun mit einem Elektron im Zustand a und einem im Zustand b (also etwa mit einem s- und einem p-Elektron).

Das klingt vertraut; so oder ähnlich liest es sich in dem Kapitel über Mehrelektronenatome in einem Physik- oder Chemiebuch. Es gibt hier aber eine Unstimmigkeit, und über die geht der Text elegant hinweg.

Das Problem taucht immer auf wenn bei einem Mehrelektronensystem von *einem* Elektron gesprochen wird, also von Elektron 1, von Elektron 2, von einem 2s-Elektron, einem 3p-Elektron oder eine 4f-Elektron.

Die Sprache, die man benutzt, ist die, die man sonst gebraucht, wenn man von einem wohl definierten individuellen Gebilde spricht. Und jeder, der entsprechende Aussagen über das Elektron liest, interpretiert sie so: Elektron 1 ist das eine Teilchen, und Elektron 2 das andere – auch wenn man nicht sagen kann, wo sich die Teilchen genau befinden. Man lernt dann zwar, dass sie ununterscheidbar sind, was, wenn überhaupt, sicher nicht leicht zu verstehen ist. Aber wenn man es dann mal akzeptiert hat, so hat man eben zwei Elektronen 1 und 2 – zwar nicht unterscheidbar, aber trotzdem ist das eine Elektron 1 und das andere Elektron 2.

Nun das Problem: Kurz darauf ist wieder die Rede von mehreren Elektronen. Diesmal heißen sie a und b, oder 3d, 4f, usw. Man hat aber möglicherweise nicht bemerkt, dass die Elektronen 1 und 2 nicht identisch sind mit den Elektronen 3d und 4f. Dabei sprechen wir in beiden Fällen von demselben Atom im selben Zustand.

Der Mathematik, die dazwischen liegt, sieht man durchaus an, was passiert ist, wie die Beziehung zwischen 1 und 2, und a und b ist. In der verwendeten Sprache schlägt sich diese Beziehung allerdings nicht nieder.

Tatsächlich ist man in einer ähnlichen Situation wie bei zwei gekoppelten Pendeln. Nennen wir sie mal Schwinger 1 und Schwinger 2. Man beschreibt die Lösung dann mit zwei Normalschwingungen a und b. Hier käme aber niemand auf die Idee, die beiden Normalschwingungen Schwinger a und Schwinger b zu nennen.

Herkunft

Die Sprache ist die des Bohrschen Atommodells: Da ist ein Elektron ein kleines Körperchen, das um den Kern herum „kreist“. Zu dieser Vorstellung passt weder die so genannte Ununterscheidbarkeit der Teilchen, noch das Pauliprinzip. Nun war die Sprache aber da, die Idee vom Elektron als einem kleinen individuellen Körperchen hat sich in unseren Köpfen festgesetzt. Da musste man Unstimmigkeiten, die nur aus den durch die Sprache transportierten Modellen resultieren, in Kauf nehmen.

Die Vorstellung vom Elektron als Individuum ist übrigens nicht in jedem Fall schlecht: Je nach Zustand, in dem es sich befindet, kann sie asymptotisch beliebig gut werden.

Entsorgung

Sie ist schwierig. Entweder müsste man eine Sprache verwenden, die nur die Mathematik abbildet, der also kein Modell zu Grunde liegt und die daher unanschaulich ist. Oder eine Sprache, die auf einem Modell beruht, das etwas besser passt als das Bohrsche Modell. Es wäre etwa die Sprache der Elektronenflüssigkeit, der Elektronenmaterie oder des Elektroniums.

Danach ist ein Elektron nicht ein Individuum, sondern eine bestimmte Portion eines „Stoffes“: Eine Portion der Masse m_e und der Ladung e .

Natürlich ist auch dieses Modell nicht immer brauchbar: Es enthält nicht die Interferenz. Aber der Vorteil ist: Es enthält die Tatsache, dass ein Elektron eine bestimmte Ladung und eine bestimmte Masse hat und es erfordert keine unverständliche, ja eigentlich unzumutbare Erklärung, die Elektronen seien ununterscheidbar.