

229 Quanten und Quantisierung

ZUSAMMENFASSUNG

Die Bezeichnung Quant oder Quantum wird in verschiedenen Bedeutungen benutzt, sodass es schwer fällt, eine Definition des Begriffs zu geben. Unklare Worte der Lehrenden führen zu unklaren Gedanken bei den Studierenden. Es wird empfohlen sich bei der Benutzung des Wortes zurückzuhalten.

Gegenstand

Die Quantentheorie ist, so legt es ihr Name nahe, eine Theorie über Quanten. Aber was sind Quanten? Was ist ein Quant oder Quantum? Es geht hier nur um den Gebrauch des Wortes. Hier einige Beispiele:

1. „In der Physik wird unter Quant ... ein Objekt verstanden, das durch einen Zustandswechsel in einem System mit diskreten Werten einer physikalischen Größe erzeugt wird. Quantisierte Größen werden im Rahmen der Quantenmechanik und davon inspirierten Teilgebieten der theoretischen Physik wie der Quantenelektrodynamik beschrieben. Quanten können immer nur in bestimmten Portionen dieser physikalischen Größe auftreten, sie sind mithin die Quantelung dieser Größen.“
2. „Ein Phonon ist die elementare Anregung (Quant) des elastischen Feldes.“
3. „In physics, a quantum ... is the minimum amount of any physical entity (physical property) involved in an interaction. The fundamental notion that a physical property can be ‘quantized’ is referred to as ‘the hypothesis of quantization’. This means that the magnitude of the physical property can take on only discrete values consisting of integer multiples of one quantum. For example, a photon is a single quantum of light (or of any other form of electromagnetic radiation).“
4. „Quanten: Die Teilchen, die man bei der komplementären Betrachtungsweise der Wellenfelder erhält. Im Besonderen versteht man darunter die Lichtquanten, die Teilchen, die dem elektromagnetischen Feld zuzuordnen sind. Nach der Quantentheorie der Felder besitzt jedes Feld seine Quanten; so gehören zum Kernfeld die Mesonen und zu dem Materiefeld, das die chemischen Kräfte verursacht, die Elektronen.“

Mängel

Welche Bedeutung hat ein Wort? Welchen Begriff bezeichnet es? Darüber entscheidet einzig und allein die Art wie es benutzt wird. Das bedeutet, insbesondere im Rahmen der Umgangssprache, dass ein Wort mehrere oder sogar viele Bedeutungen haben kann.

In der Physik, und vor allem bei einem Wort, das sich als Fachausdruck präsentiert, würde man sich wünschen, dass die Bedeutung eindeutig ist; dass das Wort einen Begriff eindeutig charakterisiert. Oft ist das aber auch in der Physik nicht der Fall. Die Bedeutung erschließt sich dann (hoffentlich) aus dem Kontext. So ist in der Mechanik „Kraft“ meist der Name für die Größe F , manchmal, besonders in Wortzusammensetzungen ist aber die Energie gemeint. Mit Strom ist manchmal eine Erscheinung gemeint, manchmal die Größe elektrische Stromstärke, manchmal die elektrische Ladung und manchmal die elektrische Energie.

Ein besonders schillerndes Wort ist in diesem Zusammenhang die Bezeichnung „Quant“ und Ableitungen davon: Quantum, quanteln, quantisieren. So gibt es unzählige Wortverbindungen mit dem Wörtchen Quanten: Quantenbedingung, Quanteneigenschaft, Quantenhypothese, Quantentunneling, Quantenobjekt, Quantenzahl, Quantenstatistik, Quanteninterferenz. Als Student habe ich die Quantenphysik mit einem Lehrbuch gelernt, das den Titel „Quanten“ trägt. Mit dem Aufkommen der Quantencomputer hat eine regelrechte Inflation des Wortes Quant stattgefunden.

Gehen wir die Zitate noch einmal durch:

1. Hiernach ist ein Quant mal ein Objekt, mal eine Portion einer physikalischen Größe, abgesehen von der Aussage, die Quanten seien die Quantelung einer Größe, also eher ein Vorgang.
2. Ein Quant ist eine Anregung.
3. Ein Quant ist der Minimalbetrag eines physikalischen Gebildes (entity) oder einer physikalischen Eigenschaft (property). Aber auch ein Teilchen, nämlich das Photon, kann ein Quant sein.
4. Auch Elektronen und Mesonen sind Quanten.

Es ist klar, dass die Bezeichnung ein Oberbegriff ist – aber wofür?

Offenbar für mehrere Klassen von Begriffen: nämlich zum einen für Teilchen und zum anderen für Elementarportionen physikalischer Größen. Eine Definition lässt sich aber trotzdem nicht daraus machen, denn

- nicht jedes Teilchen, auch nicht jedes Elementarteilchen wird als Quant bezeichnet;
- für die Energie gibt es keine universelle Elementarportion, man möchte aber etwa im Zusammenhang mit dem harmonischen Oszillator von Energiequanten sprechen; und für die Entropie gibt es eine Elementarportion, nämlich k_B , man möchte aber nicht sagen, die Entropie sei quantisiert oder gequantelt.

Herkunft

Der Sprachgebrauch war von Anfang an nicht ganz klar. In seiner berühmten Arbeit von 1905 benutzt Einstein sowohl die Bezeichnung Energiequanten als auch Lichtquanten. Dass es hier hin und hergeht zwischen einer Aussage über die Werte einer physikalischen Größen und einer über das was man später Teilchen nannte, war dabei noch nicht klar zu erkennen. Dass man begrifflich unterscheiden sollte zwischen Objekt (Teilchen) und Größe (Energie) hätte aber später, nach und nach, deutlich werden sollen, nämlich in dem Maß, wie immer mehr „elementare“ Teilchen entdeckt wurden und sich immer mehr Größen als portioniert herausstellten. Diese Ausdifferenzierung hat aber, wie wir gesehen haben, nicht stattgefunden.

Entsorgung

Es gibt keine Institution, die festlegt, wie Wörter zu gebrauchen sind, auch nicht die so genannten Fachausdrücke. Ich möchte den Fachphysikern auch keineswegs Empfehlungen für den Gebrauch von Bezeichnungen geben. Wenn ich Empfehlungen ausspreche, so richten sie sich nur an die Lehrkräfte, und zwar an Schule und Hochschule.

Meine erste Empfehlung wäre, die Bezeichnung Quant als Name von Teilchen gar nicht benutzen. Der Name vereinfacht nichts, er erklärt nichts. Die Teilchen des Lichts nennt man also nicht Lichtquanten, sondern Photonen. Und die Photonen sind Teilchen und keine Energiequanten (wie sie auch keine Impuls- oder Drehimpulsquanten sind).

Meine zweite Empfehlung wäre, das Wort auch nicht für die Elementarportionen physikalischer Größen zu verwenden.

Brauchbar dagegen ist meiner Meinung nach das Verb quantisieren. So lässt die Tatsache, dass die Werte bestimmter physikalischer Größen (in einem abgeschlossenen System) ganzzahlige Vielfache eines elementaren Wertes sind, kurz und klar ausdrücken: die elektrische Ladung, der Drehimpuls, der magnetische Fluss... sind quantisiert. Wenn man das Wort so gebraucht, sollte man allerdings auch sagen, dass die Stoffmenge quantisiert ist. Das Elementarquantum

$$\tau = 1,66 \cdot 10^{-24} \text{ mol}$$

ist gerade der Kehrwert der Avogadro-Konstante. Dass das gewöhnlich nicht so gesagt wird, liegt wahrscheinlich daran, dass diese Quantisierung lange vor der Entstehung der Quantentheorie entdeckt worden war.

Von der Quantisierung der Energie zu sprechen, wäre dann eher etwas ungeschickt. Wie andere Größen auch, nimmt die Energie eines gegebenen Systems in der Regel diskrete Werte an. Aber sollen wir das Quantisierung nennen?

Alternativ könnte man natürlich auch in diesem Zusammenhang auf das Wort ganz verzichten. Man würde nicht viel verlieren und vielleicht etwas Klarheit gewinnen.

Ich befürchte allerdings, dass angesichts des Siegeszuges der Quanten solche Empfehlungen unrealistisch sind. Vielleicht kann man aber doch wenigstens den folgenden Rat geben: Mäßigung im Umgang mit dem Wort.