

Atlanten der Physik (9)

Reine Energie

Gegenstand:

In Lehrbüchern und wissenschaftlichen Zeitschriften findet man oft Aussagen, denen zufolge elektromagnetische Strahlung reine Energie sei, wie etwa in folgender Formulierung /1/: “Wenn ein Positron mit einem Elektron zusammentrifft, vernichten sich die Teilchen gegenseitig und erzeugen reine Energie in Form von Gammastrahlung.” Oder ein anderes Beispiel /2/: “Ein schweres Teilchen und sein Antiteilchen können sich gegenseitig vernichten, sodass dabei Energie entsteht, und ein solches Paar kann aus Energie wieder erzeugt werden.” Eine ähnliche Auffassung kommt in einer Formulierung wie der folgenden zum Ausdruck /3/: “... Licht kann auch mit Hilfe von Photonen beschrieben werden, diskret emittierten Energiequanten.”

Mängel:

Selbstverständlich sind elektromagnetische Wellen keine reine Energie. Das elektromagnetische Feld ist ein physikalisches System, d. h. ein Gebilde, für das *alle* physikalischen Standardvariablen bestimmte Werte haben, und nicht nur die Energie.

So haben für das elektromagnetische Feld außer der Energie im allgemeinen auch die extensiven Größen Impuls, Drehimpuls und Entropie von null verschiedene Werte. (Die elektrische Ladung dagegen ist in allen Zuständen des Feldes gleich null.) Aber auch intensive Größen haben, genauso wie bei anderen Systemen, bestimmte Werte. So hat das elektromagnetische Feld in jedem Punkt einen bestimmten Druck. (Der Druck ist richtungsabhängig und daher ein Tensor). In bestimmten Zuständen, nämlich den Zuständen, die man thermische Strahlung nennt, hat das Feld auch eine bestimmte Temperatur und ein bestimmtes chemisches Potenzial.

Die Strahlung mit einer einzigen physikalischen Größe zu identifizieren, ist einfach nicht korrekt. Die Strahlung ist ein physikalisches System, das uns durch die Natur vorgegeben ist. Physikalische Größen dagegen sind Produkte des menschlichen Geistes. Sie sind Werkzeuge zur Beschreibung von Systemen.

Ein Photon, die Elementarportion des Systems “elektromagnetisches Feld”, ist entsprechend auch mehr als nur ein Quantum der Energie. Auch das Photon trägt neben Energie noch andere extensive Größen, etwa Impuls und Drehimpuls.

Die Verwechslung der Konzepte “Größe” und “System” kommt auch in einer anderen Art Formulierung, die man oft antrifft, zum Ausdruck, und in der Energie und Materie offenbar als zwei gleichberechtigte Klassen von in der Natur vorkommenden “Stoffen” dargestellt werden /4/: “Wenn sich alle Galaxien voneinander entfernen [...], erscheint es logisch, dass sie einst in einem dichten See aus Materie und Energie zusammengedrängt waren.”

Herkunft:

Wahrscheinlich gibt es zwei Ursachen für die falsche Identifizierung der Größe “Energie” mit dem System “elektromagnetisches Feld”. Man hatte wohl einerseits in der Energie zunächst mehr als nur eine Größe gesehen, andererseits aber auch das elektromagnetische Feld als System nicht ernst genommen.

Nach der Einführung der Energie um die Mitte des vorigen Jahrhunderts wurde schnell ihre umfassende Bedeutung in der Naturwissenschaft erkannt. Die Begeisterung darüber, eine Größe von so großer Tragweite gefunden zu haben, führte aber auch zu einer Überschätzung und Verkennung der Größe: Die Energie wurde, besonders in den Kreisen der “Energetiker”, begriffen als etwas Stoffliches. So kann man im Jahre 1908 in Ostwalds Buch *Die Energie* lesen /5/: “Die Energie ist daher in allen realen oder konkreten Dingen als wesentlicher Bestandteil enthalten, der niemals fehlt, und insofern können wir sagen, dass in der Energie sich das eigentliche Reale verkörpert.”

Andererseits war die elektromagnetische Strahlung nicht als das akzeptiert, als was sie heute begriffen wird.

Wir wissen heute, dass sie ein System ist wie andere Systeme, etwa das ideale Gas oder das Phononensystem eines Festkörpers. Wie andere Systeme, so besteht auch das elektromagnetische Feld aus Elementarportionen. Was für das Gas Wasserstoff die Wasserstoffmoleküle sind oder für das Gittersystem eines Festkörpers die Phononen, sind für das elektromagnetische Feld die Photonen.

Diese Verknennung, sowohl der physikalischen Größe "Energie", als auch des physikalischen Systems "elektromagnetisches Feld", hat ihre Spuren hinterlassen. Auch wenn wir es längst besser wissen, gehen uns leicht Sätze wie die oben zitierten über die Lippen.

Entsorgung:

Statt zu sagen, bei der Reaktion eines Elektrons mit einem Positron entstehe reine Energie, sage man, es entstehen Photonen. Und statt zu sagen, elektromagnetische Strahlung sei reine Energie, sage man elektromagnetische Strahlung trage Energie, aber neben der Energie auch noch andere extensive Größen, etwa Impuls, Drehimpuls und Entropie.

- /1/ "When a positron encounters an electron, the two particles annihilate each other and produce pure energy in the form of gamma radiation." Scientific American, Dezember 1993, S. 44
- /2/ "A massive particle and its anti-particle can annihilate to form energy, and such a pair can be created out of energy." Penrose, R.: The emperor's new mind, Oxford University Press, S. 308
- /3/ "... light can also be described in terms of photons, discretely emitted quanta of energy". Scientific American, April 1993, S. 26
- /4/ "So if galaxies are all moving away from one another [...] it seems logical that they were once crowded together in some dense sea of matter and energy." Scientific American, Oktober 1994 S. 32
- /5/ Ostwald, W.: Die Energie. – Verlag Johann Ambrosius Barth, Leipzig, 1908, S. 5.

F. H.