

225 Poynting-Vektor und Maxwell-Tensor

ZUSAMMENFASSUNG

Die Energiestromdichte im elektromagnetischen Feld hat einen eigenen Namen und ein eigenes Symbol. Diese Bezeichnungen fördern die Vorstellung, dass Felder besonders schwierige, unanschauliche Gebilde sind.

Gegenstand

Gewöhnlich wird der Poynting-Vektor etwa so definiert:

Der Poynting-Vektor \vec{S} gibt die Energiestromdichte des elektromagnetischen Feldes an. Er berechnet sich als das Kreuzprodukt aus elektrischer Feldstärke \vec{E} und magnetischer Feldstärke \vec{H} :

$$\vec{S} = \vec{E} \times \vec{H} \quad (1)$$

Mängel

Warum braucht die Energiestromdichte im elektromagnetischen Feld einen eigenen Namen und ein eigenes Symbol? Der Sinn einer physikalischen Größe besteht darin, dass sie ein und dieselbe Eigenschaft an den verschiedensten physikalischen Systemen misst. Sie gestattet damit, die Systeme miteinander zu vergleichen, etwa das Trägheitsverhalten der Erde mit dem eines Elektrons mit Hilfe der Masse. So kann man auch sagen: Die Masse der Erde ist groß, die des Elektrons klein. Wenn man den Massen von Erde und Elektron verschiedene Namen gegeben hätte, wäre die entsprechende Aussage komplizierter.

Außerdem könnte man sich fragen: Wenn man der Energiestromdichte im elektromagnetischen Feld einen eigenen Namen gibt, wäre es nicht konsequent, den Energiestromdichten in anderen Systemen ebenfalls Namen zu geben, also etwa der in der Hydraulikleitung eines Baggers, die sich nach $p\vec{v}$ aus Druck und Geschwindigkeit berechnet?

Nun ist das entsprechende Vorgehen in anderen Zusammenhängen durchaus gang und gäbe. Man denke etwa an die Größe, die man manchmal Abstand nennt, aber an anderer Stelle auch Weg, Länge, Breite, Höhe, Entfernung, Verschiebung, Radius oder Durchmesser. Nun handelt es sich aber hier um Maße, die der Anschauung leicht zugänglich sind, und die in der Umgangssprache fest verankert sind.

Das ist anders bei der Energie, und besonders im Zusammenhang mit Feldern. Man betont gern, dass der „Feldbegriff“ ein schwieriger Begriff sei, und man führt ihn ein auf eine Art, die den Eindruck entstehen lässt, ein Feld sei nicht mehr als eine mathematische Konstruktion, die es gestattet, die Kraft auf einen Massenpunkt zu berechnen [1].

Tatsächlich ist ein Feld ein physikalisches System, wie andere auch, wie ein Körper, ein Gas oder eine Flüssigkeit. Wie in jedem andern System haben auch im Feld die physikalischen Standardgrößen irgendwelche Werte: Energiedichte (Massendichte), Energiestromdichte, Impuls, Impulsstromdichte, Ladungsdichte, Entropiedichte und je nach Zustand auch Geschwindigkeit, Temperatur und chemisches Potenzial.

Ich befürchte, dass die Bezeichnung Poynting-Vektor die Vorstellung fördert, dass man es beim Feld mit etwas Geheimnisvollen zu tun hat und dass man den Energiestrom im elektromagnetischen Feld nicht ganz Ernst nehmen darf, oder dass es sich dabei um etwas handelt, was sich von einem „richtigen“ Energiestrom irgendwie unterscheidet.

Herkunft

Die Formel (1) stammt aus der Zeit, als man gerade erst begann zu verstehen, wie sich Energieverteilungen lokal beschreiben lassen.

Eine Besonderheit dabei war, dass man es bei der noch neuen Größe Energie mit einer physikalischen Größe zu tun hatte, von der man nicht sagen konnte, welche Eigenschaft sie misst. Man konnte ihre Werte nur erschließen oder berechnen aus anderen messbaren Größen – allerdings je nach System und je nach Zustand auf eine andere Art. Erst 1905, also 20 Jahre nach Einführung des Poynting-Vektors, wurde klar, dass auch die Energie eine spezifische Eigenschaft misst, nämlich Trägheit und Schwere.

Ähnliches gilt für den Maxwellschen Spannungstensor. Statt zu sagen, die von Maxwell gefundene Formel gestattet es uns, die mechanischen Spannungen im Feld zu berechnen, nennt man die Spannungen Maxwellsche Spannungen, als ob sie sich in irgendetwas von den normalen, „richtigen“ mechanischen Spannungen unterscheiden würden.

Entsorgung

Schreibe die Formel etwa so:

$$\vec{j}_E = \vec{E} \times \vec{H}$$

wo \vec{j}_E die Energiestromdichte ist.

Wo bleibt dann aber Poynting, den man doch mit dem Namen des Vektors ehren wollte? Es wäre passender, den Namen Poynting nicht mit dem Vektor zu verbinden, sondern mit der Gleichung. Die könnte man also Poynting-Heaviside-Formel nennen. (Ja, es stimmt: sie wurde von beiden unabhängig voneinander gefunden.)

[1] F. Herrmann, *Altlasten der Physik*, 6.14 Das Feld als Raumbereich mit Eigenschaften, Kindle-Buch, 2020