

160 Das Kausalitätsprinzip in der Physik

ZUSAMMENFASSUNG

Merkwürdigerweise wird das Kausalitätsprinzip in Physiklehrbüchern nur im Zusammenhang mit der theoretischen Festkörperoptik erwähnt.

Gegenstand

Das Kausalitätsprinzip wird in Physikbüchern gewöhnlich nur an einer einzigen Stelle erwähnt: zur Begründung der Kramers-Kronig-Beziehung, d.h. im Kontext eines speziellen Themas der Festkörperoptik, Abb. 1. Studierende des Lehramts Physik werden kaum etwas damit zu tun haben:

- *Man sollte zur Kenntnis nehmen, dass die Schlussfolgerung $\epsilon(\omega)$ sei in der oberen Halbebene regulär, physikalisch eine Folge des Kausalitätsprinzips ist.* [1]
- *Wenn ein linearer Zusammenhang dieser Art als Funktion der Frequenz betrachtet wird – d. h. als Funktion der Zeit –, muss er die Bedingung der Kausalität erfüllen;...* [2]

It is useful to notice that the conclusion that $\epsilon(\omega)$ is regular in the upper half-plane is, physically, a consequence of the causality principle. The integration in (58.3) is, on account of this principle, taken only over times previous to t , and the region of integration in formula (62.1) therefore extends from 0 to ∞ rather than from $-\infty$ to ∞ .

It is evident also from the definition (62.1) that

$$\epsilon(-\omega^*) = \epsilon^*(\omega). \quad (62.2)$$

However, the coefficients n and k are not quite independent of one another. They are linked by *dispersion relations*. The quantity N^2 in (8.11), is an example of a *generalized susceptibility*, α , say, in a relation like

$$D = \alpha E \quad (8.20)$$

between a generalized 'displacement', D , and a 'force', E . When a linear relation of this kind is considered as a function of frequency—that is, as a function of time—it must satisfy the requirements of *causality*; there must be no displacement until after the application of the force. It is well known that this condition requires that the real and imaginary parts of the complex function

$$\alpha(\omega) = \alpha_1(\omega) + i\alpha_2(\omega) \quad (8.21)$$

Abb. 1. Ausrisse aus zwei Lehrbüchern zur Festkörperoptik

Mängel

Für denjenigen, der diesen Teil der Physik nie studiert hat, gibt es hier kein Problem. Wenn man ihn nach dem Kausalitätsprinzip fragt, wird er antworten, das sei ein philosophisches Konzept; dass es gilt, ist eine Selbstverständlichkeit; für den Physiker ist es kein Thema, denn es werde von jeder physikalischen Theorie vorausgesetzt. Ein Problem hat nur der Student, der die Vorlesung über optische Eigenschaften der Festkörper hört, und der auch dieser Meinung war, und dann, in der Vorlesung über theoretische Festkörperphysik sitzend, plötzlich den Dozenten sagen hört, er benutze für die folgende Rechnung das Kausalitätsprinzip. Hat er fünf Semester studieren müssen, um endlich an die Stelle zu kommen, an der sich das Kausalitätsprinzip in der Physik bemerkbar macht?

Herkunft

Wohl nur eine von Generation zu Generation übertragene Gewohnheit.

Entsorgung

Es ist zwar gegen das Kausalitätsprinzip an dieser Stelle nichts Wesentliches einzuwenden. Nur: Wenn man sich einer so starken Keule bedient, hätte man vielleicht schon etwas früher darauf hinweisen können, dass man sie besitzt. Und wenn man sich etwas mit den begrifflichen Grundlagen der Physik befassen würde, hätte man bemerkt, dass das Kausalitätsprinzip allenthalben wirksam ist.

[1] L. D. Landau und E. M. Lifshitz: *Electrodynamics of Continuous Media*, Pergamon Press, Oxford 1960, S. 257

[2] J. M. Ziman: *Principles of the Theory of Solids*, University Press, Cambridge 1969, S. 222.