

1. Lichtausbreitung in Mathematik und Physik

Jeder Lichtstrahl bewegt sich im „ruhenden“ Koordinatensystem mit der bestimmten Geschwindigkeit V , unabhängig davon, ob dieser Lichtstrahl von einem ruhenden oder bewegten Körper emittiert ist. Hierbei ist Geschwindigkeit = Lichtweg/Zeitdauer, wobei „Zeitdauer“ im Sinne der Definition des §1 aufzufassen ist. [1] S. 895

Zur Zeit t_A gehe ein Lichtstrahl von A aus... [1] S. 896

Der Mathematiker benutzt das Modell „Lichtstrahl“, um Informationsaustausch zwischen Beobachtern von Ereignissen abstrakt darstellen zu können. Dabei ist für ihn die konkrete Beschaffenheit und Herkunft der verwendeten Strahlung unerheblich, da für seine Zwecke allein die Ausbreitungsrichtung und die Vakuumgeschwindigkeit eine Rolle spielen. Mit dem experimentell gesicherten Befund, dass die Vakuumgeschwindigkeit elektromagnetischer Wellen unter allen Umständen konstant ist, sieht er sich berechtigt, eine umfassende Elektrodynamik bewegter Körper logisch widerspruchsfrei zu konstruieren. Die spezielle Relativitätstheorie (SRT) ist das Ergebnis solcher Bemühungen.

Der Physiker benutzt je nach Aufgabenstellung verschiedene Modelle der Lichtausbreitung. Auch er benutzt das Modell Lichtstrahl, wenn es um Strahlenverläufe z.B. in optischen Geräten geht, aber dieses Modell reicht nicht mehr aus bei der Beschreibung von Dipolstrahlung, deren elektromagnetische Felder sich im dreidimensionalen Raum ausbreiten und zeitabhängig sind.

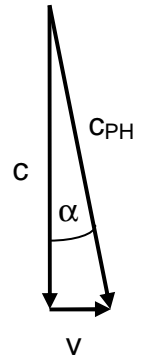
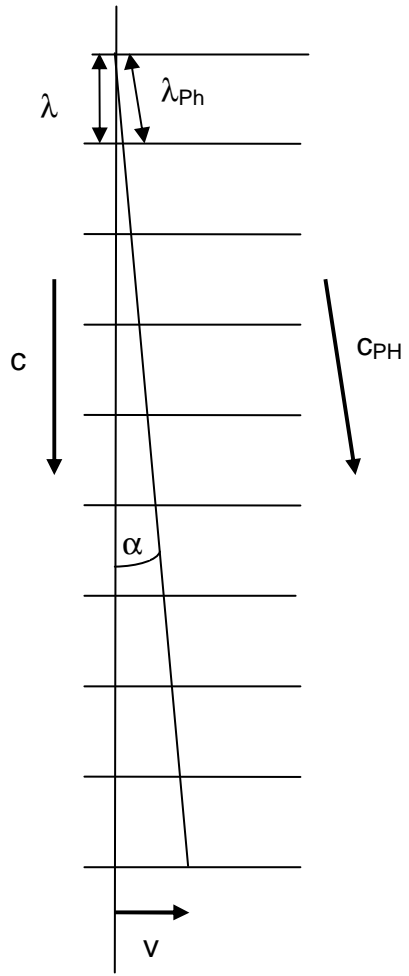
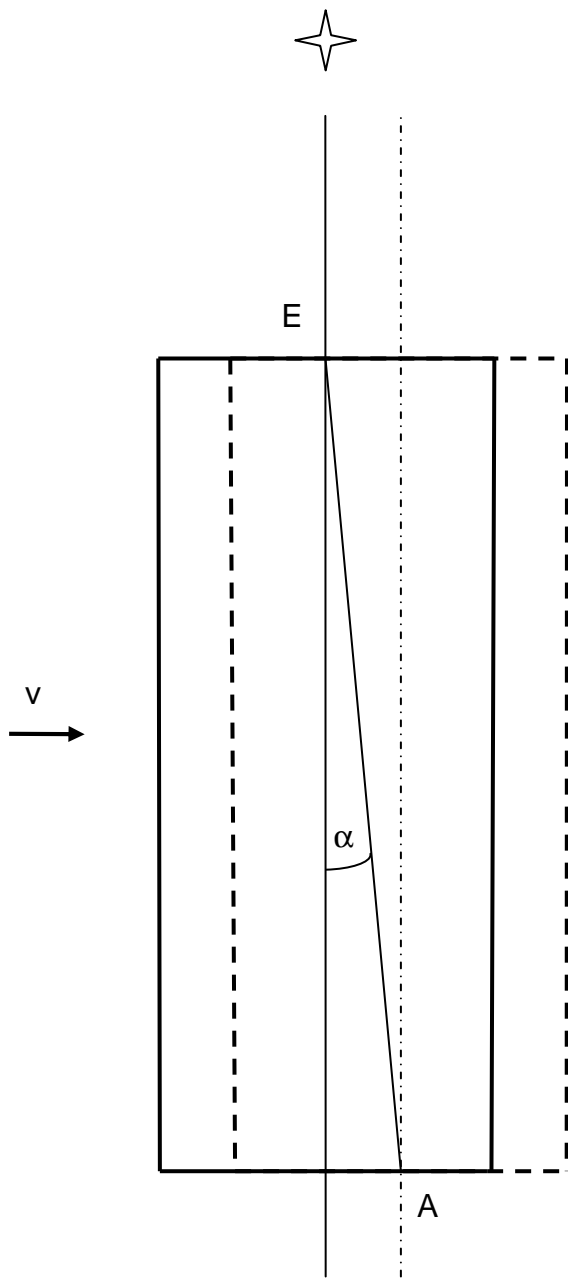
Der Physiker unterscheidet Lichtausbreitung im Vakuum und im Medium, die ja durch verschiedene Geschwindigkeiten gekennzeichnet sind. Als Ursache dafür unterscheidet er auch Phasengeschwindigkeit und Gruppengeschwindigkeit einer Welle, die unter bestimmten Umständen nicht identisch sein müssen.

Mit der Gruppengeschwindigkeit („Lichtgeschwindigkeit“) c wird Energie bzw. Information übertragen. Im Vakuum stehen die Vektoren der elektrischen und magnetischen Feldstärke senkrecht auf c , so dass die Felder quer zur Ausbreitungsrichtung stehen und man von Transversalwellen spricht.

Mit der Phasengeschwindigkeit c_{Ph} beschreibt man die Ausbreitung allein der Phase, selbst wenn die Welle keine reine Transversalwelle ist und eine longitudinale Komponente der Feldvektoren enthält. Ein solcher Fall tritt ein, wenn

Gruppengeschwindigkeit c und Phasengeschwindigkeit c_{Ph} einen Winkel $\alpha > 0$ einschließen, so dass die Wellenfronten (und damit die Feldstärkevektoren) nicht mehr senkrecht auf der Ausbreitungsrichtung von c_{Ph} stehen.

Unter welchen Umständen kann ein solcher Fall auch im Vakuum eintreten?



Bereits um 1727 hatte James Bradley bei Fixsternbeobachtungen festgestellt, dass Lichteintritt E und Austritt A beim Fernrohr nicht auf einer gemeinsamen Achse liegen. Ursache dafür ist die Erdbewegung senkrecht zum Lichteinfall. Während das Licht die Länge des Fernrohrs durchläuft, rückt das System Erde-Fernrohr bei seinem jährlichen Sonnenumlauf merklich nach rechts (siehe Abbildung).

Darin sehen Mathematiker ein Problem:

Die Laufwege eines „Lichtpunktes“ bei Ruhe und bei Bewegung des Fernrohrs weichen voneinander ab, dennoch braucht Licht scheinbar die gleiche Zeit für diese unterschiedlichen Strecken. Nach dem Prinzip von der Konstanz der Lichtgeschwindigkeit darf der Strahl auf dem längeren Weg von A nach E nicht schneller sein als bei geradem Durchgang. Naheliegende Lösung: Die Zeit verläuft langsamer.

Physiker lösen das Problem ohne jede Zusatzannahme mit den bekannten Gesetzen der Wellenlehre.

Nehmen wir an, das Sternenlicht ist zu jedem Zeitpunkt im Vakuum unterwegs (auch innerhalb des Fernrohrs), so besteht keine Voraussetzung für eine Lichtablenkung. Die Wellenfronten stehen dann immer senkrecht auf dem Vektor der Lichtgeschwindigkeit. Verfolgen wir jedoch einen ausgewählten Frontpunkt während seines Durchganges, so scheint dieser bezüglich des Fernrohres immer weiter nach rechts zu rücken. Aufeinanderfolgende Frontpunkte sind versetzt zueinander und lassen sich zwar durch eine Linie verbinden, entlang derer sie sich auszubreiten scheinen, aber hier handelt es sich nicht mehr um die ursprüngliche Lichtwelle. Die Wellenfronten stehen nicht mehr senkrecht auf der beobachteten Ausbreitungsrichtung, so dass auch die Vektoren der elektrischen und magnetischen Feldstärke keinen rechten Winkel zur Ausbreitungsrichtung dieser Phasenwelle mehr haben. Aus der reinen Transversalwelle ist ein Hybrid geworden, der auch longitudinale Feldkomponenten enthält. Solche Phasenwellen mit höherer Geschwindigkeit als c treten auch beim Übergang in Stoffe auf, deren Brechungsindex $n < 1$ ist. Das ist auch nicht problematisch, da mit wachsender Phasengeschwindigkeit auch der Energie- bzw. Informationstransport abnimmt: Eine bestimmte Energieportion kann also tatsächlich nicht schneller als mit c vom Eintrittspunkt E zum Austritt A laufen, wohl aber die Phase.

Obwohl der Physikerstandpunkt unstrittig sein dürfte, verweisen Mathematiker in letzter Instanz immer wieder auf die Erfolge, die mit der relativistischen Betrachtungsweise erzielt wurden. Diese benutzt den Begriff der Phasengeschwindigkeit nicht und muss deshalb auf dem Wege gewisser Transformationen die Verbindung zur physikalischen Realität wieder herstellen. Schauen wir uns einmal näher an, wie die Beobachtungen zueinander ruhender bzw. bewegter Beobachter aus Mathematiker- bzw. Physikersicht erklärt werden. Tun sich hier tatsächlich unüberbrückbare Gräben auf oder lassen sich gemeinsame Elemente finden, die nur durch die jeweils eigenwillige Denkart des anderen unerkannt bleiben und zu Verständnislosigkeit führen?