

Lichtkegel nahe einer Masse

Um die Thesen der Allgemeinen Relativitätstheorie zu veranschaulichen, hat die Physik ein Raumzeitmodell entwickelt.

Man reduziert die drei Dimensionen des Raums auf eine zweidimensionale Fläche und fügt die Zeit auf einer eigenen Achse als vierte Dimension hinzu. Bewegt sich ein Objekt, so wird sein Ort auf der Fläche angezeigt und der zeitliche Ablauf durch die Höhe seiner Position auf der Zeitachse festgehalten. Verbindet man diese Raum-Zeit-Positionen miteinander, ergibt sich eine so genannte Weltlinie. Sie ist die grafische Darstellung einer Bewegung.

Jede Raum-Zeit-Position ist eine Momentaufnahme, ein so genanntes Ereignis, das auf der Spitze eines Lichtkegels sitzt. Ein Lichtkegel setzt sich aus den Weltlinien der Photonen zusammen, die von dem Ereignis ausgesendet werden. Verfolgt man die Weltlinie eines Photons, lässt sich das Verhalten des Lichts darstellen. Aus diesem wiederum kann auf die Struktur der Raumzeit geschlossen werden.

Läuft die Weltlinie eines Photons die Lichtkegel entlang, und projiziert man sie in den Raum, ergibt sich eine Gerade. Lichtstrahlen sind also Geraden.

Nun ist die zentrale These der Relativitätstheorie, dass Materie die Raumzeit krümmt. Im Raumzeitdiagramm wird dies durch gekippte Lichtkegel angezeigt. Je näher die Lichtkegel einer Masse kommen, umso stärker kippen sie in ihre Richtung. Allerdings muss es sich um eine große Masse handeln, z. B. von Sternen wie unserer Sonne, die hier durch ihre Weltröhre dargestellt ist.

Gekippte Lichtkegel verändern aber den Verlauf der Weltlinie des Photons. Da sich seine Weltlinie tangential zum Lichtkegel ausbreitet und somit immer der Ausrichtung der Lichtkegel folgt, ist sie plötzlich keine Gerade mehr. Projiziert man sie in dieser Situation in den Raum, ergibt sich eine gebogene Linie. Der Lichtstrahl breitet sich nun nicht mehr gerade aus, sondern beugt sich. Kann das sein?

Der gebogene Verlauf von Lichtstrahlen kann tatsächlich in der Natur beobachtet werden. Bei einer Sonnenfinsternis, wenn der Mond den Tageshimmel abdunkelt, kann man die Positionen eines Sterns nahe dem Sonnenrand vermessen und feststellen, dass sie verschoben ist. Der Lichtstrahl windet sich um die Sonne, sodass sich von der Erde aus eine scheinbare Position am Himmel ergibt, die von der tatsächlichen Position abweicht. Für unsere Sonne ist der Effekt allerdings sehr klein. Er reicht gerade aus, um den Lichtstrahl um knapp 2 Bogensekunden abzulenken. Dieser Winkel entspricht ungefähr dem Tausendstel der Sonnengröße, wie sie uns am Himmel erscheint.

Dennoch ist die Tatsache, dass Materie die Raumzeit krümmt, mit dieser Beobachtung nachgewiesen. Sie hat grundsätzliche Bedeutung und führt zu weiteren, verblüffenden Vorhersagen.