

# 168 Masse, Ruhmasse, invariante Masse, relativistische Masse, Energie, Ruhenergie und innere Energie

## ZUSAMMENFASSUNG

Sieben Bezeichnungen, wo eigentlich nur zwei gebraucht werden, führen zwangsläufig zu Missverständnissen.

### Gegenstand

Der bei Bezugssystemwechsel invariante Betrag des Viererimpulsvektors wird, vor allem in der Teilchenphysik, invariante Masse oder kurz Masse genannt. Anderswo heißt er auch Ruhmasse, oder, wenn er in anderen Einheiten angegeben wird, Ruhenergie. Gelegentlich nennt man ihn auch innere Energie. Sonst versteht man in der Physik unter Masse nicht nur diesen invarianten Anteil, sondern die sich mit der Geschwindigkeit ändernde Masse, manchmal auch relativistische Masse genannt. Wenn sie in anderen Einheiten gemessen wird, heißt sie einfach Energie.

### Mängel

Es gibt physikalische Größen, die Ärger machen: Sie ändern im Lauf der Zeit ihre Bedeutung, oder sie werden von verschiedenen Personen in unterschiedlicher Bedeutung benutzt. Bei manchen Größen gibt es den Ärger schon lange, wenn nicht schon immer – etwa bei der Kraft und der Wärme. Bei der Masse ist das Problem neu. Sie gehörte lange Zeit, etwa 200 Jahre lang, eher zu den in dieser Hinsicht gutartigen Größen. Das Durcheinander wurde ausgelöst durch die Relativitätstheorie. Der Sachverhalt ist einfach, das Chaos aber groß.

Hier der Sachverhalt: Es gelten die Beziehungen

$$E^2 = E_0^2 + c^2 p^2$$

und

$$E = mc^2$$

und es geht um die Namen der drei Größen  $m$ ,  $E$  und  $E_0$ . Eigentlich war durch die Entdeckung der Identität von Energie und Masse eine der Bezeichnungen Masse und Energie überflüssig geworden. Tatsächlich wurden aber mehrere neue Namen kreiert, mit dem Ergebnis, das oben beschrieben wurde.

### Herkunft

Das Problem entstand mit der Relativitätstheorie.

Zum einen haben wir die Entdeckung, dass Energie und Masse dieselbe Größe sind: Energie hat dieselben Eigenschaften wie Masse, nämlich Schwere und Trägheit.

Zum anderen gehört es zur Relativitätstheorie, dass sie die physikalische Welt mit Vierervektoren und ihren lorentzinvarianten Beträgen beschreibt. Lorentzinvarianten sind praktisch. Sie enthalten das Eigentliche, das von der Willkür der Bezugssystemwahl Befreite eines Teilchens, eines Feldes oder eines Prozesses. Da die Masse jahrhundertlang für etwas gestanden hatte, das für ein Teilchen charakteristisch ist, etwas, das einen wesentlichen Teil seiner Identität ausmacht, das nicht vom Bezugssystem abhängt, so möchte man das Wort auch in Zukunft in dieser Rolle belassen. Also benutzt man den Namen, besonders in der Teilchenphysik, für den lorentzinvarianten Betrag des Viererimpulsvektors, also das, was zunächst Ruhmasse hieß.

Es konkurrierten also zwei Anliegen:

- der Name Masse als Maß für die Trägheit (die für ein und denselben Körper in einem Bezugssystem groß und im anderen klein sein kann);
- der Name Masse für eine Größe, die ein Teilchen charakterisiert, und deren Wert bezugssystemunabhängig ist.

Damit war das Chaos vorprogrammiert.

Wer die Masse als universelles Trägheitsmaß benutzt, braucht einen neuen Namen für den Wert der Masse im Schwerpunktsystem. Die Bezeichnungen Ruhmasse und Ruhenergie boten sich an. Wobei mit Ruhe lediglich gemeint ist, dass der Schwerpunkt des betrachteten Systems ruht. Abgesehen davon kann beliebige Unruhe herrschen.

Wer die Bezeichnung Masse für die Lorentzinvariante benutzte, musste für das Trägheitsmaß einen neuen Namen haben. Man nannte sie relativistische Masse. Und falls man befürchten musste, dass jemand nicht weiß, dass man die Größe  $m_0$  einfach Masse nennt, fügte man sicherheitshalber das Adjektiv invariant hinzu; sie wurde zur invarianten Masse.

### Entsorgung

Wir wagen es nicht, der mächtigen Teilchenphysiker-Community einen Vorschlag zu machen. Was die Schule betrifft, so möchten wir aber eine Empfehlung aussprechen.

Wir führen die Masse ein als die Größe, die die Trägheit und die Schwere von Körpern charakterisiert. Das Konzept dieser Größe ist klar. Wir lernen später, dass mit der Relativitätstheorie die Einsicht kam, dass die Energie genau dieselben Eigenschaften charakterisiert, dass also Energie und Masse ein und dieselbe Größe sind; dass die Trägheit und die Schwere zunimmt, wenn man einen Körper erwärmt, eine Feder spannt, einen Kondensator auflädt. Wir werden selbstverständlich für die Größe, die diese Eigenschaften misst, nach wie vor die Bezeichnung Masse benutzen. Wir brauchen dann unsere Vorstellung von der Masse nicht zu korrigieren. Noch einmal: Masse misst Trägheit und Schwere.

Die Größen  $E_0$  und  $m_0$  mag man Ruhenergie und Ruhmasse nennen, auch wenn nichts ruht an einem System, dessen Gesamtenergie gleich der Ruhenergie ist – außer seinem Schwerpunkt. Die Bezeichnung innere Energie wäre hier vielleicht passender.