

Die Größe "Impuls", die wir aus der Mittelstufe kennen, taucht auch in der relativistischen Dynamik auf. Die Formel sieht einfacher aus, als sie hier ist, da m keine Konstante ist, sondern sich mit der Geschwindigkeit ändert. Anhand einer konkreten Aufgabe lernen wir in dieser Stunde den Umgang mit dem "relativistischen Impuls".

Aufgabe:

In einem Experiment misst man für schnelle Elektronen den Impuls $8,0 \cdot 10^{-22} \text{ kg} \cdot \text{m/s}$.
a) Berechne zunächst nicht-relativistisch die Geschwindigkeit.
b) Erläutere, weshalb dieses Ergebnis im Widerspruch zu den Grundpostulaten der speziellen Relativitätstheorie steht.

2.4 Relativistischer Impuls

Definition:

Genau wie in der klassischen Mechanik ist der Impuls p definiert durch

$$\mathbf{p} = \mathbf{m} \cdot \mathbf{v}$$

Allerdings ist hier die Masse m abhängig von der Geschwindigkeit!

Aufgabe:

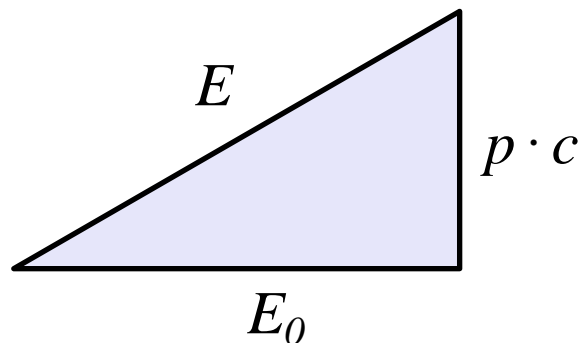
c) Berechne die Geschwindigkeit nun korrekt mit relativistischer Rechnung, verwende den Lorentzfaktor.

Aufgabe (Fortsetzung):

Auch wenn Energie und Impuls unterschiedliche Größen sind, so verbindet sie doch, dass bei beiden in die Berechnung die Masse und die Geschwindigkeit der Teilchen einfließen. Deshalb gibt es auch einen Zusammenhang zwischen Energie und Impuls, das ist in der klassischen Dynamik genauso der Fall, wie in der relativistischen. Für den letzteren Fall ist dieser Zusammenhang hier hergeleitet.

Arbeite diese Herleitung durch und vollziehe dabei jeden einzelnen Schritt nach.

(oft wird dieser algebraische Zusammenhang anhand eines rechtwinkligen Dreiecks dargestellt, da er formal dem Pythagoras entspricht)



Energie - Impuls - Beziehung

$$(1) \quad E = mc^2 = \frac{m_0 c^2}{\sqrt{1 - \left(\frac{v}{c}\right)^2}} = \frac{E_0}{\sqrt{1 - \left(\frac{v}{c}\right)^2}} \quad \left| \cdot \sqrt{1 - \left(\frac{v}{c}\right)^2} \right.$$

$$E \cdot \sqrt{1 - \left(\frac{v}{c}\right)^2} = E_0 \quad |^2$$

$$E^2 \cdot \left(1 - \left(\frac{v}{c}\right)^2\right) = E_0^2 \quad (2)$$

$$(3) \quad p = mv = \frac{m_0 v}{\sqrt{1 - \left(\frac{v}{c}\right)^2}}$$

$$\frac{(3)}{(1)} : \quad \frac{p}{E} = \frac{m_0 v}{m_0 c^2} = \frac{v}{c^2} \quad \rightarrow \quad v = \frac{p}{E} \cdot c^2 \quad (4)$$

$$E^2 \cdot \left(1 - \left(\frac{p}{E} \cdot c\right)^2\right) = E_0^2$$

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

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

Mit der Energie-Impuls-Beziehung können wir jetzt die Masse der Elektronen aus der Aufgabe vom Anfang berechnen.

d) Berechne für die Elektronen aus der Aufgabe von Folie 1 und 2 die Masse mit Hilfe der Energie-Impuls-Beziehung.

e) Führe alternativ die Berechnung der Masse mit Hilfe der Formel aus Kapitel 2.3 durch und vergleiche die beiden Ergebnisse.

Fortsetzung der Aufgabe von Folie 1 und 2

Selbst-Check:

- **relativistischer Impuls (Definition)**
- **Energie-Impuls-Beziehung**
- **Berechnungen**

Übungsmöglichkeiten:

Auf Leifiphysik eignet sich unter **Teilgebiet Relativitätstheorie - Spezielle Relativitätstheorie - Relativistische Masse und Impuls Aufgaben** insbesondere die Aufgabe "**Impuls und Geschwindigkeit von Elektronen im B-Feld (Teilaufgaben b) und c))**", sowie unter **- Energie-Impuls-Beziehung Aufgaben** die Aufgabe "**Hochenergetische Teilchen (Teilaufgabe c))**". Achtung: viele Aufgaben aus diesem Bereich kommen erst zu einem späteren Zeitpunkt in Frage.