

Handwerkszeug

Teilchenbeschleuniger im Vergleich



Merkmal	Linearbeschleuniger	Synchrotron	Zyklotron
Größenordnung	mehrere Kilometer	400 m	3-4 M
Form, Aufbau (Skizze)			
Teilchenbahn (in die Skizze einzeichnen)			
Anzahl der Beschleunigungs- strecken	mehrere	2	1
Lage der Teilchenquelle Teilchen (intern – extern)	intern	extern	intern
elektrisches Feld (ja – nein)	Ja	Ja	Ja
magnetisches Feld (ja – nein)	Ja	Ja	Ja
Wie erfolgt die Synchronisation der Wechsel- spannung?	Umpolung nach Teilchendurchflug		

1) Warum müssen die zu beschleunigenden Teilchen elektrisch geladen sein?

2) Welche Funktion übernimmt das elektrische Feld?

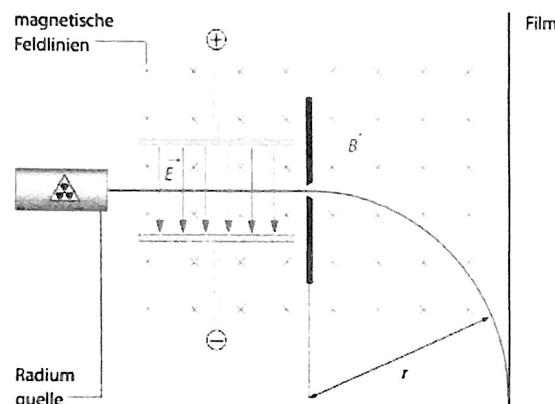
3) Welche Funktion übernimmt das magnetische Feld?

1. Damit sie von den elektrischen und magnetischen Feldern beeinflusst werden können
2. Das elektrische Feld beschleunigt die Teilchen
3. Das magn. Feld lenkt die Teilchen

Dynamische Masse – Die Masse von schnellen Teilchen nimmt mit der Geschwindigkeit zu

Experimente mit schnellen Elektronen

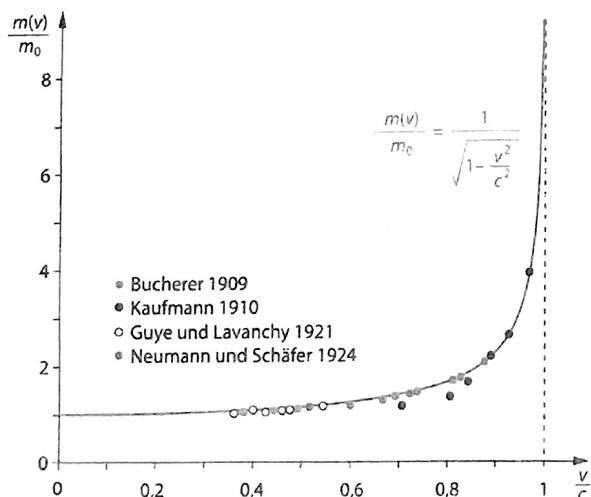
Die erste experimentelle Bestätigung der von EINSTEIN theoretisch begründeten Massenzunahme schnell bewegter Körper gelang im Jahr 1909 dem Physiker ALFRED BUCHERER. Er nutzte für seine Experimente energiereiche Elektronen, die beim Zerfall von Radium entstehen. Ein Kondensator wurde so in ein magnetisches Feld eingebracht, dass elektrische und magnetische Feldlinien senkrecht aufeinander standen (Abb. 3).



3 Experimenteller Aufbau zur Untersuchung schneller Elektronen in einem Magnetfeld

Eine solche Anordnung stellt einen Geschwindigkeitsfilter für die Elektronen dar: Nur Elektronen mit einer bestimmten Geschwindigkeit können den Kondensator auf einer geradlinigen Bahn passieren (vgl. 6.7). Die Geschwindigkeit der Elektronen, die den Filter passieren, lässt sich über die elektrische und die magnetische Feldstärke steuern. Hinter dem Filter bewegen sie sich auf einer Kreisbahn, deren Radius proportional zur ihrer Masse m_e ist.

In den Experimenten von Bucherer zeigte sich, dass die Masse der Elektronen gemäß Gl.(1) zunimmt. Dieses Ergebnis wurde in den folgenden Jahren von weiteren Experimentatoren mit zunehmender Genauigkeit bestätigt (Abb. 4). Die Experimente hatten eine große Bedeutung für die Anerkennung der Speziellen Relativitätstheorie.



4 Versuchsergebnisse verschiedener Autoren mit schnellen Elektronen

Aufgabe 1: Beschreibe und deute Abb. 4

Die Ruhemasse m_0 eines Teilchens wird von einem Beobachter festgestellt, der in Bezug auf das Teilchen in Ruhe ist und sich in einem Inertialsystem befindet. Für ein Teilchen mit der Ruhemasse m_0 und mit der Geschwindigkeit v , lässt sich aus den Versuchen die folgende Beziehung für die dynamische Masse ableiten:

$$m(v) = \frac{m_0}{\sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}}$$

(Zum Verständnis: Die Beschleunigung eines Körpers in einem bewegten System erscheint in einem ruhenden System wegen der Zeitdilatation bzw. der Längenkontraktion vermindert. Die verminderte Beschleunigung ist durch eine Zunahme der Masse zu erklären.)

Die Beziehung für den Impuls p , für den in der klassischen Mechanik den Ausdruck $p = m \cdot v$ hergeleitet wurde, wird in der speziellen Relativitätstheorie beibehalten. Allerdings setzt man für die Masse die dynamische Masse ein:

$$p(v) = m(v) \cdot v = \frac{m_0}{\sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}} \cdot v$$

Aufgabe 2: Berechne, bei welcher Geschwindigkeit die dynamische Masse dreimal so groß wie die Ruhemasse ist.

Aufgabe 3: Elektronen treten senkrecht zu den magnetischen Feldlinien in ein Magnetfeld ($B = 6,0 \cdot 10^{-2} \text{ Vs/m}^2$), wodurch die Teilchen auf einer Kreisbahn mit dem Radius $r = 4,4 \text{ cm}$ geführt werden.

- Berechne den Impuls der Elektronen. (Es gilt $p = r \cdot e \cdot B$ mit $e = 1,6 \cdot 10^{-19} \text{ C}$)
- Zeige, dass sich bei klassischer Rechnung für die Elektronen Überlichtgeschwindigkeit ergeben würde. ($m_0 = 9,11 \cdot 10^{-31} \text{ kg}$ für das Elektron)
- Ermittle die Elektronengeschwindigkeit unter Berücksichtigung der relativistischen Massenzunahme.

Nr. 1

Die Abbildung zeigt ein Koordinatensystem, welches zu einer gegebenen Masse m_0 , dessen dynamische Masse $m(v)$ in Abhängigkeit der Geschwindigkeit v beschreibt. Man kann sehen, dass die Experimente die Vorhersage der Gleichung bestätigen: beispielsweise wurde experimentell die dynamische Masse bei etwa 97 % der Lichtgeschwindigkeit auf das 4-fache der Ursprungsmasse gemessen; passend zu den Funktionswerten der Funktion.