

## Antiteilchen – Positron als Antielektron

Dieses Blasenkammerbild zeigt ein elektromagnetisches Event (grüne Spur), bei dem ein Teilchenpaar entsteht. Beide Teilchen besitzen einen ähnlichen Impuls, müssen aber jeweils eine entgegengesetzte Ladung besitzen.

Das zweite Teilchen muss also das Antiteilchen zum Elektron sein.

→ Positron

Grundlegender Prozess:  $\gamma \rightarrow e^- + e^+$

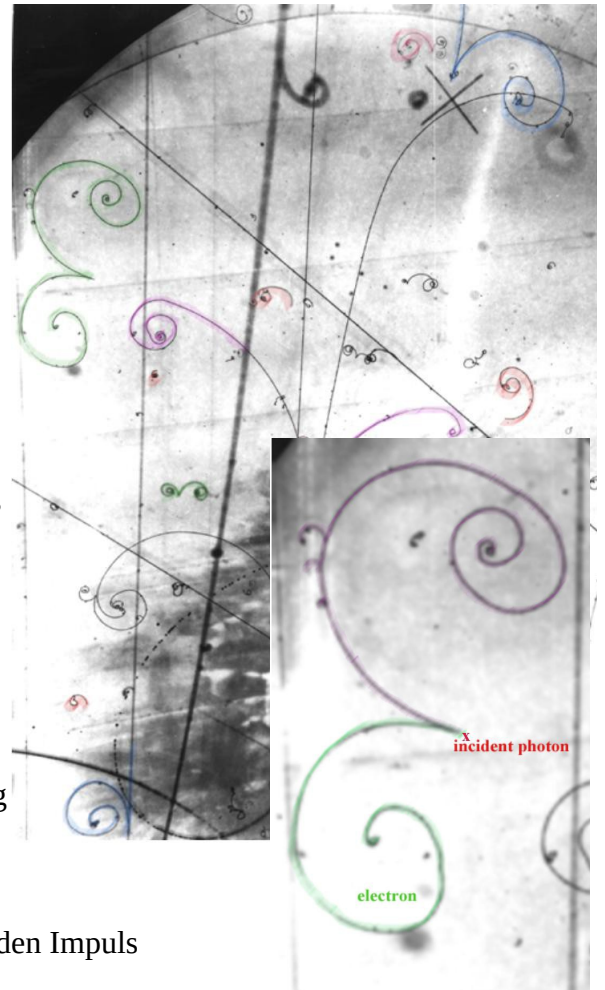
Energetische Betrachtung (einfache Näherung):

Aus der Masse eines Elektrons von 511 keV folgt, dass das Photo mindestens eine Energie von 1,022 MeV besitzen muss, damit das Paar entstehen kann.

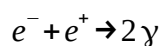
Obwohl die Ladungen der beiden Teilchen vom Betrag her gleich groß sein müssen (Millikan), sind die Radien leicht unterschiedlich. Bei einer vereinfachten Prozessbeschreibung können Energie- und Impulserhaltung nicht gleichzeitig erfüllt werden.

Lösung:

Bei der Reaktion ist ein Atomkern beteiligt, der den fehlenden Impuls aufnimmt. → Exkurs



Die Umkehrung des Produktionsvorganges ist die Zerstrahlung (Annihilation):



Anwendung:

PET - Scan

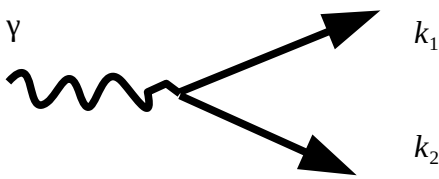
## Exkurs

$$\text{Viererimpuls } p = \begin{pmatrix} E \\ \vec{p} \end{pmatrix} \quad \text{mit } \vec{p} = \begin{pmatrix} p_x \\ p_y \\ p_z \end{pmatrix}$$

$$\text{Spezielle Relativitätstheorie } p^2 = E^2 - \vec{p}^2 = m_e^2 \quad \Rightarrow |\vec{p}| = \sqrt{E^2 - m_e^2}$$

(- aufgrund der Minkowski-Metrik, Quadrate der Viererimpulse sind invariant unter der Lorentztransformation)

→ Quadratischer Viererimpuls eines Photons ist Null, da die Masse Null ist



$$\text{Damit ist } p^2 = 0 = (k_1 + k_2)^2 \quad \text{und } k_{1,2}^2 = m_e^2$$

$$\begin{pmatrix} E \\ \vec{p} \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} E_1 + E_2 \\ \vec{k}_1 + \vec{k}_2 \end{pmatrix} \Rightarrow \begin{matrix} E = E_1 + E_2 \\ \vec{p} = \vec{k}_1 + \vec{k}_2 \end{matrix}$$

$$\text{Aus } p_{\text{photon}}^2 = E^2 - \vec{p}^2 = m_0^2 = 0 \quad \Rightarrow (E_1 + E_2)^2 = (\vec{k}_1 + \vec{k}_2)^2$$

$$(E_1 + E_2)^2 - (\vec{k}_1 + \vec{k}_2)^2 = E_1^2 + 2E_1E_2 + E_2^2 - k_1^2 - 2\vec{k}_1\vec{k}_2 - k_2^2$$

$$\text{Mit } E_1^2 - k_1^2 = m_e^2 \quad \text{bzw.} \quad E_2^2 - k_2^2 = m_e^2$$

$$\text{Folgt } 2m_e^2 + 2(E_1E_2 - \vec{k}_1 \cdot \vec{k}_2) = 0$$

$$\text{Skalarprodukt } 2m_e^2 + 2(E_1E_2 - \sqrt{E_1^2 - m_e^2}\sqrt{E_2^2 - m_e^2}\cos\phi) = 0$$

$$\text{Da } \sqrt{E_1^2 - m_e^2} < E_1 \quad \text{und analog } \sqrt{E_2^2 - m_e^2} < E_2 \quad \text{und } -1 < \cos\phi < 1$$

$$\text{Folgt } (E_1E_2 - \sqrt{E_1^2 - m_e^2}\sqrt{E_2^2 - m_e^2}\cos\phi) > 0$$

$$\text{Demzufolge muss } 2m_e^2 + 2(E_1E_2 - \sqrt{E_1^2 - m_e^2}\sqrt{E_2^2 - m_e^2}\cos\phi) \neq 0 \quad \text{Widerspruch!}$$

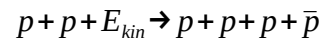
Folgerung:

Es entsteht ein weiteres Photon welches die entstehende Impulsdifferenz aufnimmt!

## Antiteilchen – Antiproton

### Erzeugung:

Ein Target mit einem ausreichend hohem Schmelzpunkt (i.d.R. Iridium in einem Graphitzylinder) wird mit hochenergetischen Protonen beschossen. Trifft dieses Proton ein Proton des Kerns, kann eine Paarbildung erfolgen. Ist die Energie groß genug, dann kann auch ein Proton-Antiproton-Paar entstehen.



### Aufgabe:

- Welche Mindestenergie benötigt man, um ein Proton-Antiproton-Paar zu erzeugen?
- Warum muss diese Energie bei einem fixed Target- Experiment größer als die Energie bei a) sein?

### Anwendung

ev. Bestrahlung von Tumoren mit Antiprotonen