

# Physikaufgabe 128

[Home](#) | [Startseite](#) | [Impressum](#) | [Kontakt](#) | [Gästebuch](#)

**Aufgabe:** Erläutern Sie, warum Erzeugung und Vernichtung von Materie und Antimaterie gleichzeitig erfolgen und warum sich Kausalität und Antikausalität dabei gegenseitig aufheben. Nehmen Sie dazu an, daß das Weltalter exakt der Lebensdauer des Protons entspricht.

**Beweis:** Sehen wir uns den Kreislauf des Universums und seines Antiuniversums in folgender Abbildung an.

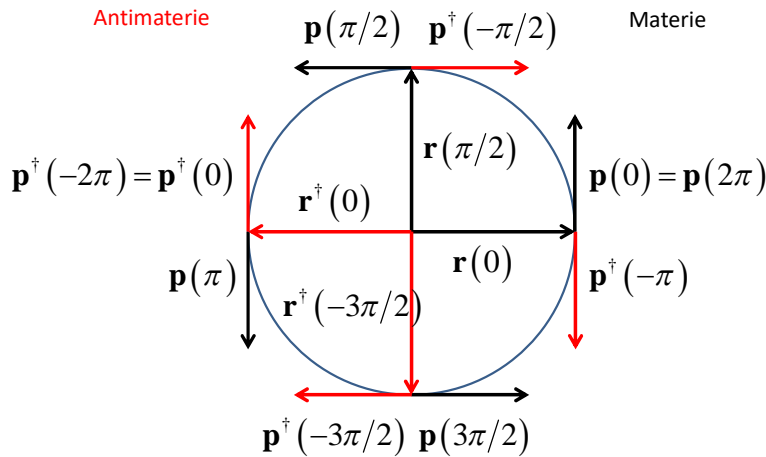


Abbildung 1. Schematische Darstellung der Entstehung von Materie und Antimaterie beim Urknall

Vereinfachend betrachten wir den Lebenszyklus des Alls nicht in Zeitangaben, sondern wir verwenden dazu Winkelgrößen. Der Zeitnullpunkt entspricht dabei dem Winkel  $\varphi = 0$  und die Lebensdauer  $T$  des Universums dem Winkel  $\varphi = 2\pi$ . Materie und Antimaterie sollen zum Zeitpunkt  $t = 0$  entstehen und zum Zeitpunkt  $t = T$  vernichtet werden. Wenn Vernichtung und Entstehung jedoch gleichzeitig erfolgen, was nur in einer Singularität möglich ist, können Materie und Antimaterie nur dann exakt separiert werden, wenn die Zeit im gespiegelten Antiuniversum rückwärts läuft. Nach der Paarerzeugung erfährt das All aufgrund der CPT-Invarianz eine Separation in Materie und Antimaterie, die, räumlich und zeitlich getrennt, kausal nicht mehr miteinander wechselwirken können. Aus Gründen der Orthogonalität von Orts- und Impulsvektor besitzt unser All, wie wir im folgenden zeigen werden, einen Drehimpuls

$$\mathbf{L} = \mathbf{r} \times \mathbf{p} = \begin{pmatrix} x \\ y \\ z \end{pmatrix} \times \begin{pmatrix} p_x \\ p_y \\ p_z \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} yp_z - zp_y \\ zp_x - xp_z \\ xp_y - yp_x \end{pmatrix},$$

wobei  $\mathbf{p} = \mathbf{F}t$  und  $\mathbf{F}$  die auf das Proton wirkende Coulombkraft ist. Im Antiuniversum gilt

$$\mathbf{L}^\dagger = (-\mathbf{r}) \times \mathbf{p} = \begin{pmatrix} -x \\ -y \\ -z \end{pmatrix} \times \begin{pmatrix} p_x \\ p_y \\ p_z \end{pmatrix} = - \begin{pmatrix} yp_z - zp_y \\ zp_x - xp_z \\ xp_y - yp_x \end{pmatrix},$$

## Physikaufgabe 128

---

weil sich der Impuls wegen  $\mathbf{p}^\dagger = -\mathbf{F}(-t)$  nicht ändert. Aufgrund der Drehimpulserhaltung ist der Drehsinn des Antiuniversums dem unsrigen genau entgegengesetzt:

$$\mathbf{L} + \mathbf{L}^\dagger = \mathbf{r} \times \mathbf{p} - \mathbf{r} \times \mathbf{p} = 0.$$

Auch die Unschärferelationen in beiden Universen müssen sich gegenseitig aufheben. In unserem Universum gilt

$$\Delta \mathbf{r} \cdot \Delta \mathbf{p} = \Delta x \Delta p_x + \Delta y \Delta p_y + \Delta z \Delta p_z = \frac{\sqrt{3}}{2} \hbar,$$

im Antiuniversum entsprechend

$$-\Delta \mathbf{r} \cdot \Delta \mathbf{p} = -\Delta x \Delta p_x - \Delta y \Delta p_y - \Delta z \Delta p_z = -\frac{\sqrt{3}}{2} \hbar.$$

Wieder ist

$$\Delta \mathbf{r} \cdot \Delta \mathbf{p} - \Delta \mathbf{r} \cdot \Delta \mathbf{p} = 0.$$

Weil aber nicht sein kann, daß sich der Impulsoperator

$$\mathbf{p} = -i\hbar \nabla = \frac{\hbar}{i} \nabla$$

im Antiuniversum ändert, muß dort das Wirkungsquantum  $\hbar^\dagger$  sein Vorzeichen vertauschen:

$$\mathbf{p}^\dagger = i\hbar^\dagger \nabla = -\frac{\hbar^\dagger}{i} \nabla = \frac{\hbar}{i} \nabla = \mathbf{p}.$$

Der Ortsoperator

$$\mathbf{r} = i\hbar \nabla_p = -\frac{\hbar}{i} \nabla_p$$

ändert ebenfalls sein Vorzeichen, weil es das Wirkungsquantum auch tut:

$$\mathbf{r}^\dagger = i\hbar^\dagger \nabla_p = -\frac{\hbar^\dagger}{i} \nabla_p = \frac{\hbar}{i} \nabla_p = -\mathbf{r}.$$

Wirkung ist gemäß

$$|\mathbf{L}| = |\mathbf{r} \times \mathbf{p}| = |\mathbf{r}| |\mathbf{p}| \sin \theta = |\mathbf{r}| |\mathbf{p}| \cos \theta \tan \theta = \mathbf{r} \cdot \mathbf{p} \tan \theta = \hbar \tan \theta$$

definiert als der Betrag des Drehimpulses geteilt durch den Tangens des Winkels  $\theta$  zwischen Impuls- und Ortsvektor. Stehen Orts- und Impulsvektor aufeinander senkrecht, ist das Plancksche Wirkungsquantum gegeben als Grenzwert orthogonaler Orts- und Impulsvektoren:

## Physikaufgabe 128

---

$$\hbar = |\mathbf{r}| |\mathbf{p}| \lim_{\theta \rightarrow \pi/2} \cos \theta \rightarrow 0.$$

Damit sind Ort- und Impulsraum zueinander senkrecht bzw. reziprok. In jedem Fall ist

$$\hbar = \mathbf{r} \cdot \mathbf{p} = xp_x + yp_y + zp_z.$$

Ergo ist das Wirkungsquantum im Antiuniversum negativ:

$$\hbar^\dagger = (-\mathbf{r}) \cdot \mathbf{p} = (-x)p_x + (-y)p_y + (-z)p_z,$$

so daß die Welt im Grunde nicht zu existieren scheint, denn

$$\hbar + \hbar^\dagger = \mathbf{r} \cdot \mathbf{p} - \mathbf{r} \cdot \mathbf{p} = 0.$$

Die Welt entsteht allerdings beim Urknall durch Kollision und Annihilierung von Materie und Antimaterie. In der Singularität ist nämlich als einzigem ausgezeichneten Punkt die CPT-Invarianz zweifach entartet, weil  $+0 = -0$  und kraft Annihilierung  $e + (-e) \rightarrow 2\gamma$ , wobei  $e$  und  $-e$  für die Ladungen von Proton und Antiproton stehen und  $\gamma$  für eines der beiden erzeugten Gammaquanten.<sup>1</sup> Die Frage, woher Materie und Antimaterie stammen, stellt sich nicht, weil es in der Singularität keine Kausalität gibt bzw. sich Kausalität und Antikausalität gegenseitig aufheben.

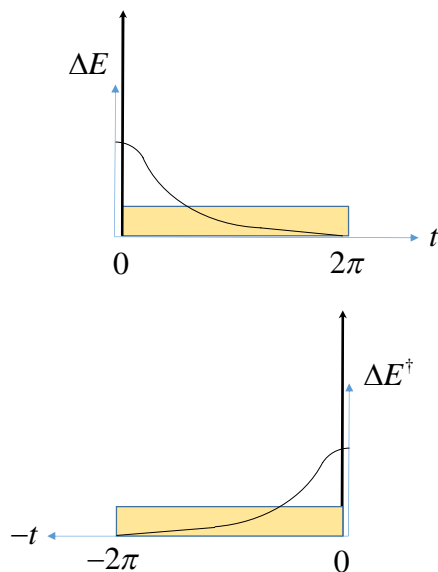


Abbildung 2. Energieunschärfe im gewöhnlichen und im gespiegelten Universum

Während die Energieunschärfe  $\Delta E$  in unserem Universum zu Beginn am größten ist, ist die Energieunschärfe  $\Delta E^\dagger$  im gespiegelten Universum an dessen Ende am größten.  $\Delta E^\dagger$  entspricht daher der Zeitunschärfe  $\Delta t$  unseres gewöhnlichen Universums, und die Zeitunschärfe  $\Delta t^\dagger$  der Energieunschärfe  $\Delta E$ .

---

<sup>1</sup> Die Paarvernichtung erfolgt streng genommen über kurzlebige Pionen.