

Wie erzeugt man Materie und Antimaterie und wie bringt sie in einem Speicherring zur Kollision?

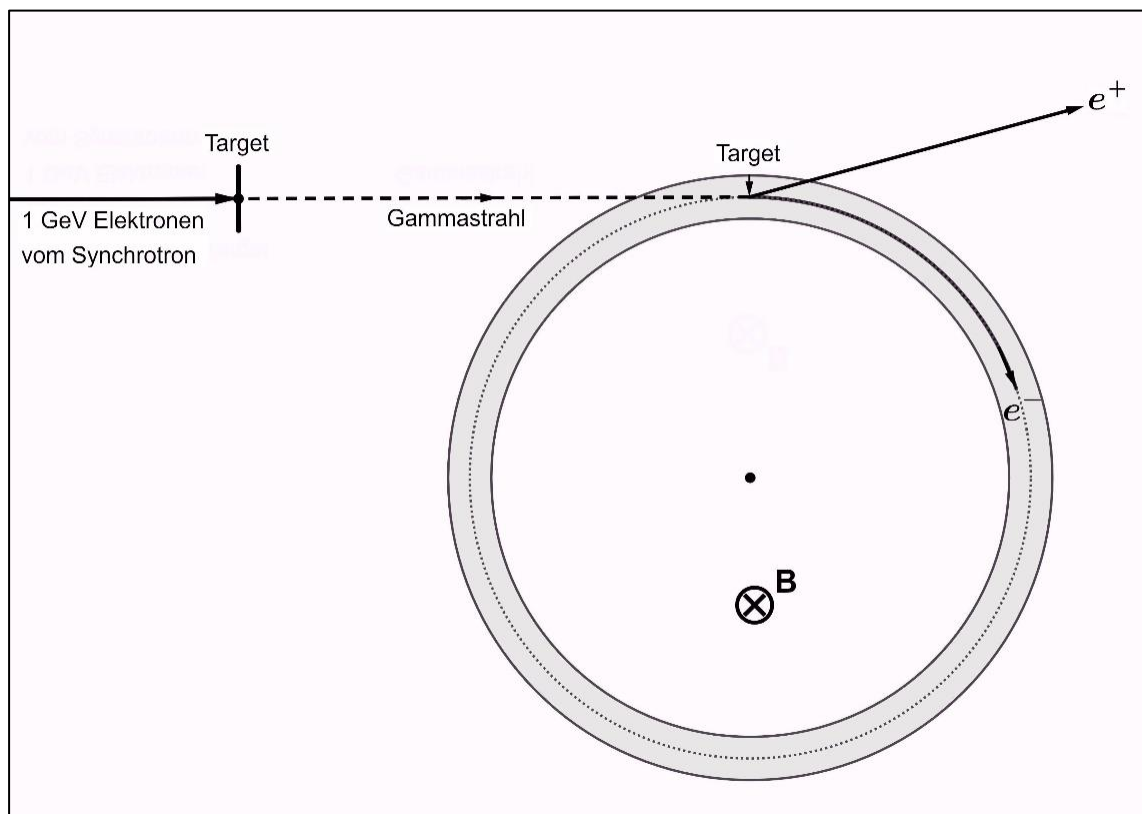
Matthias Borchardt, 2021

Bereits zu Beginn der 1960-er Jahre wurde die Idee, Elementarteilchen durch die Beschleunigung im Synchrotron hohe Energien mitzugeben und sie dann zur Kollision zu bringen, intensiv diskutiert. Man erwartete, dass die freiwerdende Kollisionsenergie neue Teilchen hervorbringen könnte – die Verwandlung also von Energie in Materie. Noch effektiver, so die Idee, würde dieser Prozess funktionieren, wenn man Materie und Antimaterie aufeinander schießen könnte. Dann nämlich würde außer der Bewegungsenergie der Teilchen auch die Energie zur Verfügung stehen, die sich aus der Annihilation der Teilchen ergibt.

Der weltweit erste kleine Speicherring, in dem Elektronen auf Positronen geschossen werden sollten, wurde von dem österreichischen Physiker Bruno Touschek erdacht und mithilfe italienischer Physiker in Italien (Frascati in der Nähe von Rom) erfolgreich aufgebaut und getestet. Das Konzept dieses Speicherringes enthielt so faszinierende Ideen, dass diese Konstruktion weltweit für große Aufmerksamkeit sorgte und die Beschleunigerphysik und den Fortschritt im Beschleunigerbau nachhaltig beeinflusste.

Wie schaffte es Bruno Touschek Anfang der 1960-er Jahre, Antimaterie zu erzeugen, sie in einen Speicherring einzuspeisen und sie dann mit Materie zur Kollision zu bringen?

Wir schauen uns dazu die untenstehende Abbildung an:

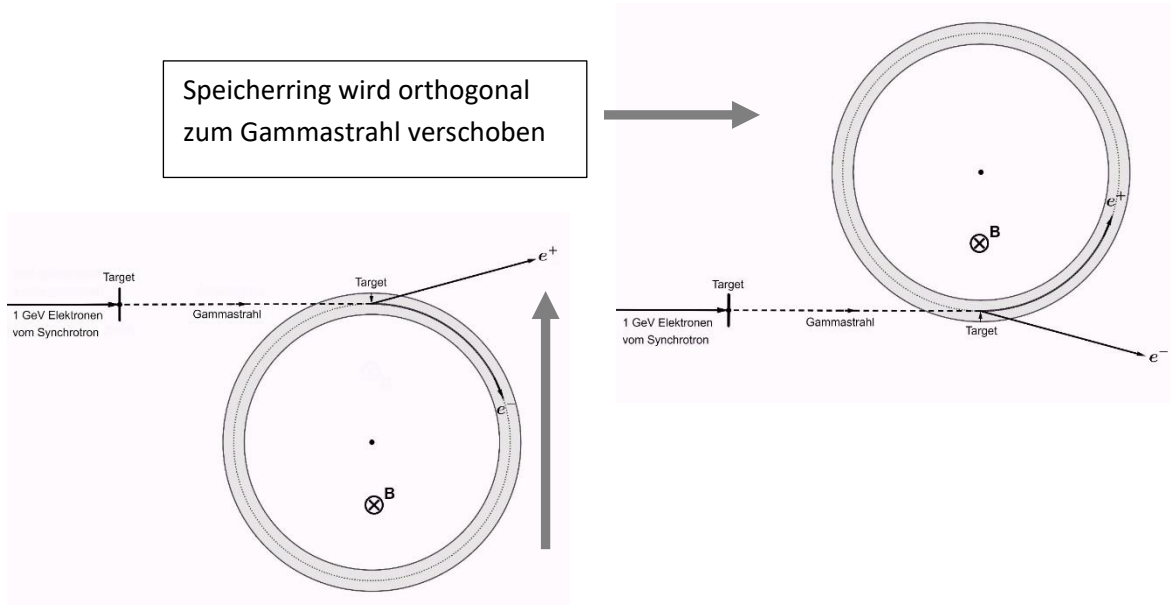


Der Speicherring wird mit Elektronen gefüllt

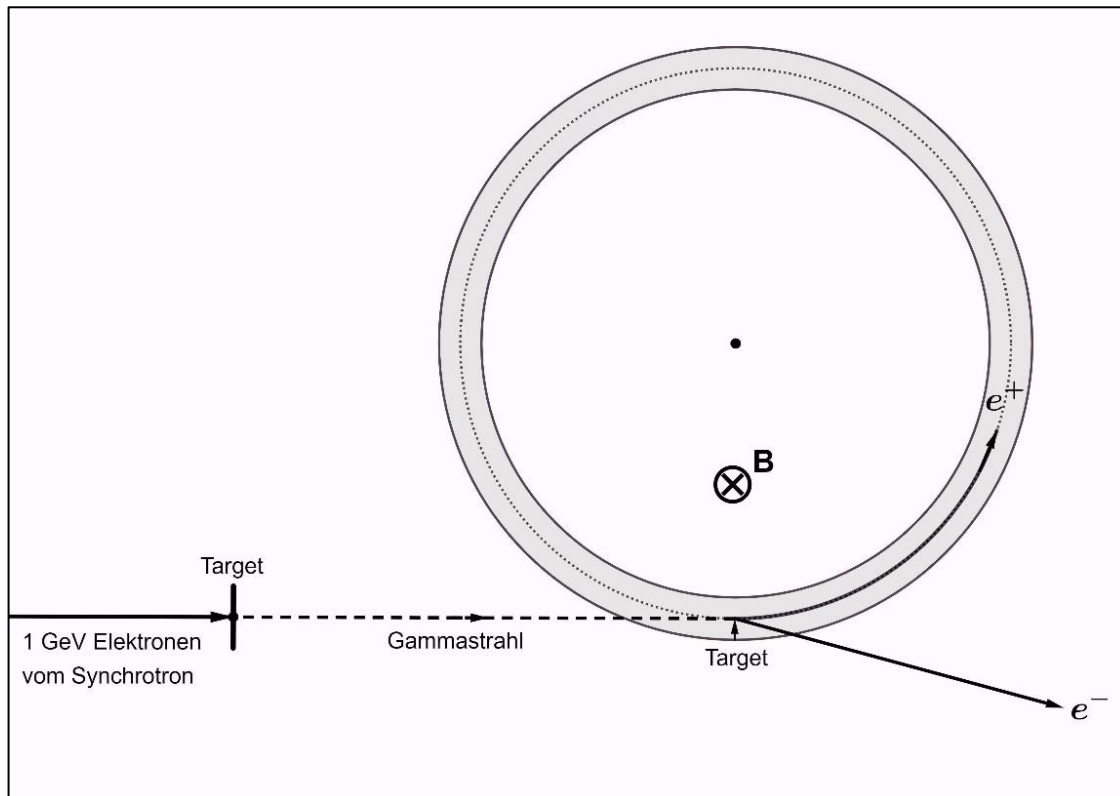
Damals existierte im Institut von Frascati bereits ein Elektronen-Synchrotron mit einer Energie von 1 GeV. Bruno Touschek kam nun auf die Idee, den Elektronenstrahl aus dem Synchrotron auszulenken und die hochenergetischen Elektronen auf ein dünnes Metall-Target prallen zu lassen. Durch das abrupte Abbremsen der geladenen Teilchen entstand Bremsstrahlung, die aufgrund der hohen Energie der Elektronen nicht mehr im Röntgenbereich lag, sondern aus Gammaquanten bestand, die sich in Form eines scharf gebündelten, nach vorne ausgerichteten Strahls ausbreiteten. Diese Gammastrahlung wurde tangential auf die Vakuumröhre der kleinen Speicherrings gelenkt. Die Wand der Vakuumröhre stellte für die hochenergetische Gammastrahlung kein Hindernis dar. Innerhalb des Speicherrings traf die Gammastrahlung dann auf ein weiteres Target, an dem intensive Paarbildung stattfand – Gammaquanten verwandeln sich in Paare von Elektronen und Positronen, die sich mit hohen Geschwindigkeiten auseinanderbewegen. In der Abbildung ist zu erkennen, dass das Magnetfeld des Speicherrings in die Papierebene gerichtet ist. Daher wurden einige der erzeugten Elektronen durch die Lorentzkraft in den Ring gezogen, also auf eine Kreisbahn gezwungen. Übrigens nicht alle, denn die Gammastrahlung wies ein kontinuierliches Energiespektrum auf, sodass Elektronen-Positronen Paare unterschiedlicher Energie entstanden. Nur einige der erzeugten Elektronen hatten die passende Geschwindigkeit, um in den Ring eingefangen zu werden. Die Positronen prallten dagegen in die Wand der Vakuumröhre und gingen verloren – was nicht weiter schlimm war, denn der Ring sollte zunächst nur mit Elektronen gefüllt werden.

Der Speicherring wird mit Positronen gefüllt

Die Idee, wie man die Positronen gegenläufig zu den Elektronen in den Speicherring bringen könnte, war so genial wie einfach. Man hatte den Speicherring nämlich auf einem großen Gestell montiert und dieses auf Schienen gesetzt. Dadurch konnte man den Speicherring, nachdem er mit Elektronen gefüllt war, so verschieben, dass der Gammastrahl nun auf der gegenüberliegenden Seite in die Vakuumröhre eindringen konnte.



Auch dort war ein Target im Speicherring montiert, sodass erneut Paare von Elektronen und Positronen entstehen konnten. Diesmal wurden aber aufgrund der geänderten Position des Rings die Positronen in den Ring eingefangen, die sich nun gegenläufig zu den Elektronen bewegten.



Der Verlust an umlaufenden Teilchen aufgrund möglicher Kollisionen mit den Targets, die halb in die Vakuumröhre hineinreichten, war recht gering, da aufgrund der Betatronschwingungen die Targets nur selten getroffen wurden.

Der große Vorteil dieses Konzepts von Bruno Touschek bestand darin, dass die Elektronen und Positronen direkt in der Vakuumröhre erzeugt werden konnten und nicht von außen in den Ring eingeschossen werden mussten. Die Vakuumröhre wies daher keine Schnittstellen und Abzweigungen auf, sodass das Vakuum über sehr lange Zeit aufrechterhalten werden konnte, denn die Gefahr von Leckstellen war deutlich reduziert.

Quellen:

- ▶ Gerard K. O'Neill: *Storage Rings*. *Science* 141 (3582), 679-686.
DOI: 10.1126/science.141.3582.679
- ▶ B. F. Touschek: *The Frascati Storage Ring*. 1960
<https://lss.fnal.gov/conf/C630610/p171.pdf>
<https://www.osti.gov/biblio/4082234-frascati-storage-ring>
<https://www.openaccessrepository.it/record/20272#.YQGFpEBCTPs>