

Japanischer Teilchenbeschleuniger SuperKEKB nimmt den Betrieb auf

Nach fünfjähriger Aufbauphase hat der neue Elektron-Positron-Beschleuniger SuperKEKB am Forschungszentrum KEK in Japan seinen Testbetrieb aufgenommen. Am 10. Februar dieses Jahres gelang es erstmals, Elektron- und Positronstrahlen zu beschleunigen und im Speicherring für über 100 Umläufe zu speichern.

Durch Kollisionen von Elektronen mit ihren Antiteilchen im Speicherring sollen in großer Zahl B-Mesonen, D-Mesonen und Tau-Leptonen produziert werden. Die Teilchenphysiker hoffen, dass sie durch Präzisionsmessungen der Zerfälle dieser Teilchen auf neue Physik jenseits des Standardmodells stoßen sowie neue exotische Hadronen finden.

Eine Besonderheit dieses Experiments am SuperKEKB mit kollidierenden Elektronen und Positronen ist die Asymmetrie in der Energie der entgegenlaufenden Teilchenstrahlen von 7 GeV für Elektronen bzw. 4 GeV für Positronen. Dabei führt die resultierende Bewegungsenergie des Schwerpunktes in welchem die B-Mesonen quasi in Ruhe erzeugt werden zu einer Zeitdilatation, wodurch sich die beobachtete Flugstrecke der sehr kurzlebigen B-Mesonen im Laborsystem erhöht. Die Zerfallsorte der B-Mesonen können so mit Hilfe Silizium-basierter Detektoren mit hoher Ortsgenauigkeit bestimmt werden.

Die Schwerpunktenenergie der kollidierenden Strahlteilchen entspricht der Masse der Upsilon(4S)-Resonanz. Diese Zustände zerfallen nahezu augenblicklich in B- und Anti-B-Mesonen-Paare und diese über die schwache Wechselwirkung auf vielfältige Weise wiederum in leichtere Teilchen. Ziel der Untersuchungen ist es, für spezifische Zerfallswege der B-Mesonen Unterschiede in den Zerfallseigenschaften von B-Mesonen und ihren Antiteilchen aufzuspüren, was einer Verletzung der sogenannten CP-Symmetrie in der schwachen Wechselwirkung entspricht.

Diese Phänomene sollen mit dem Detektor BELLE II beobachtet werden, der derzeit am SuperKEKB im Rahmen einer internationalen Kollaboration mit über 600 Physikern aus 23 Ländern aus Asien, Europa und Nordamerika aufgebaut wird. Der neue Detektor wird eine wesentliche Verbesserung des Vorläufers BELLE darstellen, der von 1999 bis 2010 am alten KEKB-Beschleuniger betrieben wurde insgesamt mehr als 10^9 Kollisionen von Elektronen und Positronen aufgezeichnet hat. Mit dem BELLE-Experiment gelang es im Jahr 2001 erstmals, eine CP-Verletzung in einem seltenen Zerfall von B-Mesonen mit einem sehr geringen statistischen Rauschen nachzuweisen [1].

Diese Entdeckung veröffentlichte zum gleichen Zeitpunkt auch das BaBar Experiment am PEP-II Beschleuniger in Stanford (USA) [2]. Neben vielen anderen wichtigen Ergebnissen, die das Belle-Experiment lieferte, konnten auch neue schwere Hadronen [3] [4] nachgewiesen werden, deren exotische Eigenschaften theoretisch häufig über ihre mögliche und ungewöhnliche Zusammensetzung aus vier Quarks erklärt werden.

Weil der Anfangszustand der Teilchen in diesen Experimenten quantenmechanisch und kinematisch wohldefiniert ist, können Zerfälle, die nicht nachweisbare Teilchen wie etwa

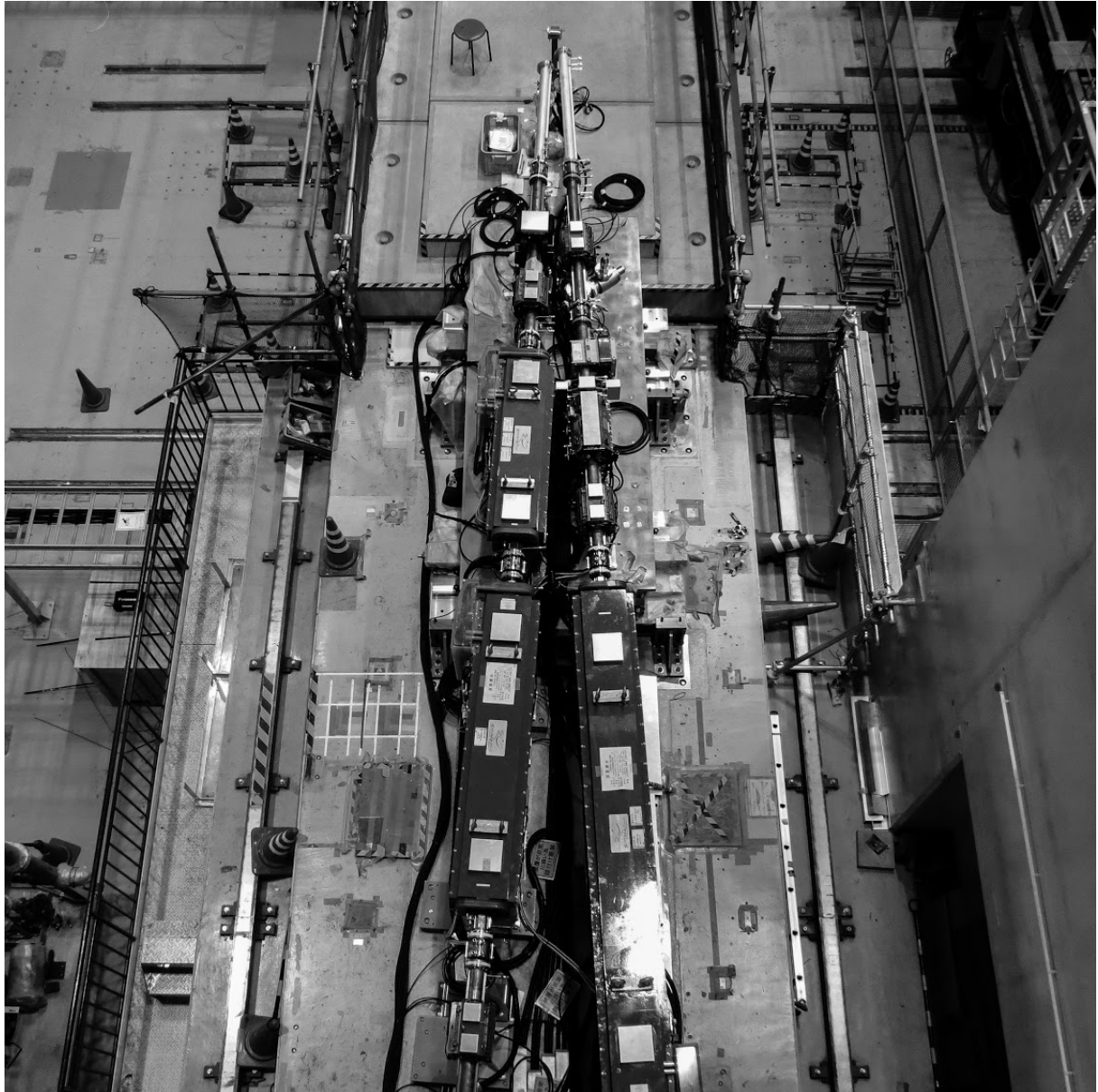
Neutrinos enthalten, vollständig rekonstruiert und identifiziert werden. Dies ist im Vergleich zum Experiment LHCb am Large Hadron Collider am CERN ein wichtiger Vorteil; am LHC werden jedoch deutlich mehr B-Mesonen erzeugt.

Mit der neuen Beschleunigeranlage soll die Anzahl der Elektronen-Protonen-Kollisionen um einen Faktor 40 gesteigert werden. Dazu werden derzeit wesentliche Änderungen am Beschleuniger vorgenommen: SuperKEKB soll zum ersten Mal sogenannte „nanobeams“ nutzen, bei denen die vertikale Ausdehnung der Kollisionszone von 1 μm auf nur noch 50 nm reduziert wird. Zusammen mit der Verdoppelung der gespeicherten umlaufenden Teilchen ergibt sich eine Erhöhung der Luminosität um den angestrebten Faktor 40 und somit bis zu 10^8 erzeugte B-Mesonen Paare pro Tag.

Der Aufbau des neuen BELLE II Detektors enthält eine Reihe von innovativen Komponenten. Ein wichtiger Bestandteil ist dabei der Silizium-Pixel Detektor mit 8 Millionen Pixeln und einer Auslesefrequenz von 50 kHz, an dessen Entwicklung deutsche Forschergruppen vom Max-Planck Institut für Physik, dem Halbleiterlabor der Max-Planck Gesellschaft, DESY und den Universitäten Bonn, Gießen, Göttingen, Heidelberg, KIT, Mainz, München (LMU und TUM) maßgeblich beteiligt sind. Der Silizium-Pixel Detektor basiert auf der sogenannten DEPFET-Technologie (depleted p channel field effective transistor), die im Halbleiterlabor der Max-Planck-Gesellschaft in München entwickelt wurde. In Kombination mit einem neuen Silizium-Streifendetektor kann die Bestimmung des Zerfallsorts entlang der Flugrichtung von 50 μm auf etwa 25 μm verbessert werden, bei einer 40 Mal höheren Kollisionsrate. Dabei ist es wichtig, die Spuren der im Zerfall produzierten Teilchen effizient und präzise zu rekonstruieren. Die deutschen Gruppen sind federführend bei der Entwicklung der Rekonstruktionsalgorithmen.

Der Aufbau des neuen Belle II Detektors soll in den nächsten zwei Jahren abgeschlossen werden. Die Qualität der Teilchenstrahlen und die Beschleunigerkomponenten sollen während dieser Zeit weiter verbessert werden, etwa durch den Einbau stark fokussierender supraleitender Magnete nahe den Kollisionspunkten. Die erste Aufzeichnung von Kollisionen durch Belle II und damit der Beginn des wissenschaftlichen Programms ist für 2018 geplant.

- [1] Belle Collaboration, K. Abe et al., Phys. Rev. Lett. 87(2001)091802
- [2] BaBar Collaboration, B. Aubert et al., Phys. Rev. Lett. 87(2001)091801
- [3] Belle Collaboration, S.-K. Choi et al., Phys. Rev. Lett. 91(2003)262001
- [4] Belle Collaboration, S.-K. Choi et al., Phys. Rev. Lett. 100(2008)142001



Credit: KEK

Bild: Aufsicht der Kollisionszone von Elektron- (rechts) und Positronstrahlen (links) während der Aufbauphase.

Autoren: J. S. Lange, S. Paul, P. Riedel

04. März 2016