

Belle II: Weltrekord im Beschleunigerring

Rückenwind für die Suche nach seltenen Teilchenzerfällen und exotischen Phänomenen am Belle II-Experiment im KEK-Labor im japanischen Tsukuba: Der Beschleunigerring „SuperKEKB“ hat die höchste je gemessene Luminosität erzielt. Damit schlägt der Elektron-Positron-Beschleuniger nicht nur seinen Vorgänger KEKB, sondern auch den Large Hadron Collider (LHC) am CERN. Dies gab das japanische Forschungszentrum KEK, der Betreiber des Beschleunigers, jetzt bekannt.

In SuperKEKB werden Elektronen und Positronen auf hohe Energien beschleunigt und im Belle II-Detektor zur Kollision gebracht. Damit wollen Wissenschaftler/innen die Ursachen des unterschiedlichen Verhaltens von Materie und Antimaterie im Universum genauer ergründen. Der deutsche Belle II-Forschungsverbund, an dem das KIT mit seinen Instituten ETP, IPE und ITIV seit Beginn des Belle II-Projektes beteiligt ist, war für die Entwicklung des zentralen Detektors in Belle II und der Spurrekonstruktionssoftware verantwortlich.

Die Luminosität spielt für die Physik an Teilchenbeschleunigern eine Schlüsselrolle. Sie sagt aus, wie viele Teilchen pro Sekunde auf einem Quadratcentimeter aufeinandertreffen. Damit ist die Luminosität eine wichtige Stellgröße für die Anzahl von Kollisionen, die im Belle II-Detektor erzeugt und ausgewertet werden können: je mehr Messdaten, umso höher die Wahrscheinlichkeit, auch sehr seltene Prozesse zu finden. Das wiederum ist die Voraussetzung dafür, Phänomene aufzuspüren, die nicht mit den herkömmlichen Modellen beschrieben werden können.

Am 14. Juni 2020 lag der Wert bei $2,2 \times 10^{34} \text{ cm}^{-2}\text{s}^{-1}$. Doch das ist erst der Anfang: In den nächsten Jahren soll die Luminosität weiter ansteigen – nach Plan auf das 40-fache des aktuellen Rekords. Dafür haben sich die Wissenschaftler/innen eine Reihe technischer Details einfallen lassen.

Ziel: Erhöhung der Kollisionsrate

Um eine hohe Luminosität zu erzielen, können zwei Dinge optimiert werden: die Dichte der beiden gegenläufigen Strahlen aus Elektronen und Positronen und der Teilchenstrom, also die Anzahl der Teilchen pro Strahl. Mit dem sogenannten Nano-Beam-Verfahren lässt sich der Teilchenstrahl auf eine Breite von nur 10 Mikrometer und eine Höhe von nur 50 Nanometer bündeln. Zum Vergleich: Die Größe von Corona-Viren beträgt 120-160 Nanometer. Der aktuelle Weltrekord konnte bereits mit einem 20 Mikrometer breiten und 220 Nanometer hohen Strahl erzielt werden. Beim Teilchenstrom ist weiterhin noch eine Erhöhung um einen Faktor 4-5 möglich.

Die technischen Neuerungen

Um das Nano-Beam-Verfahren zu implementieren und den Teilchenstrom zu erhöhen, haben die Betreiber den SuperKEKB-Ring mit technischen Neuerungen versehen. Dazu zählen

- die Installation eines neuen Strahlrohres,
- der Einbau neuer supraleitender Magneten zum Fokussieren der Strahlen,
- der Einbau eines neuen Dämpfungsrings für Positronen
- eine hochleistungsfähige Teilchenquelle.

Auswirkungen auf das Belle II-Experiment

Der Elektron- und der Positron-Strahl treffen im Zentrum des Detektors Belle II zusammen. Die Physiker/innen im Belle II-Verbund untersuchen damit Teilchen, die bei der Kollision entstehen – im wesentlichen B-Mesonen, Charm-Mesonen und Tau-Leptonen (*) sowie ihre entsprechenden Antiteilchen.

Das Verhalten dieser Teilchen ist weitgehend im Standardmodell beschrieben. Allerdings kann dieses nicht alle beobachtbaren Phänomene erklären: zum Beispiel die Beschaffenheit der Dunklen Materie, oder warum es im Universum Materie, aber kaum Antimaterie gibt. Den Schlüssel für diese Rätsel hoffen die Forscher/innen in Signalen seltener Zerfallsprozesse zu finden. Mit der Hochleistungsmaschine SuperKEKB wird es möglich, mehr dieser Ereignisse zu erfassen und zu analysieren.

Im Lauf der nächsten zehn Jahre soll Belle II 50-mal mehr Kollisionen aufzeichnen als bisher, d.h. 50 Milliarden B-Mesonen-Paare und eine ähnlich hohe Anzahl an Charm-Mesonen sowie Tau-Leptonen. So können sie tiefer als je zuvor in die Geheimnisse des Universums eintauchen.

Die deutschen Arbeitsgruppen im Belle II-Experiment werden mit Finanzmitteln folgender Einrichtungen und Programme gefördert:

- Bundesministerium für Bildung und Forschung (BMBF)
- Deutsche Forschungsgemeinschaft (DFG)
- European Research Council
- European Union's Horizon 2020 – grant agreement No 822070
- Helmholtz-Gemeinschaft
- Max-Planck-Gesellschaft

(*) Mesonen bestehen aus zwei Quarks, Elementarteilchen, die auch die Protonen und Neutronen im Kern von Atomen bilden. Zum Beispiel sind B-Mesonen aus Up- oder Down Quarks und einem Anti-B-Quark zusammengesetzt: <https://de.wikipedia.org/wiki/B-Meson>

Das Tau-Lepton ist ein schwerer Verwandter des Elektrons: <https://de.wikipedia.org/wiki/Lepton>