TEILCHENPHYSIK

Auf dem Weg zum International Linear Collider

Führende Beschleuniger- und Teilchenphysiker in Amerika, Asien und Europa arbeiten gemeinsam an der Planung des International Linear Collider (ILC). In dieser etwa 30 Kilometer langen Maschine werden Elektronen und Positronen beschleunigt und mit bisher unerreicht hohen Energien aufeinander prallen. Die Wissenschaftler erwarten davon Einblicke in die Welt jenseits des Standardmodells

Ab dem kommenden Jahr sollen am Large Hadron Collider (LHC) die ersten Protonen bei einer Schwerpunktennergie von 14 TeV aufeinander treffen. Die Hoffnungen sind groß, erste Anzeichen der Physik zu finden, die sich jenseits des Standardmodells der Teilchenphysik aufzutun muss. Die am meisten favorisierte Erweiterung ist die Supersymmetrie, nach der es zu jedem bekannten Teilchen ein Partnerteilchen gibt, das sich im Spin um $1/2$ unterscheidet. Die leichtesten dieser Teilchen werden bei Massen von einigen Hundert GeV/c^2 vorausgesagt. Sie sollten mit dem LHC nachweisbar sein, auch wenn es nicht immer einfach sein wird, die Quantenzahlen dieser Teilchen genau zu bestimmen.

In dieser Hinsicht haben Positronen-Elektronen-Collider einen eindeutigen Vorteil. Der Anfangszustand ist wohlbestimmt und der Untergrund an Teilchen kleiner. Es ist deshalb nicht verwunderlich, dass seit mehr als 25 Jahren intensiv an Beschleunigungstechniken für Elektronen und Positronen geforscht wird. Kreisbeschleuniger scheiden aus, weil Synchrotronstrahlungsverluste bei hohen Energien nicht mehr auszugleichen sind. Linearbeschleuniger können aber nur dann konkurrieren, wenn es gelingt, die Strahlen im Kollisionspunkt so zu kollimieren, dass die notwendige Luminosität erreicht wird. Mit dem ILC strebt man einen Wert von $2 \times 10^{34} \text{ cm}^{-2} \text{ s}^{-1}$ an. Bei Schwerpunktennergien von 500 GeV sind dafür Strahldimensionen um 10 nm erforderlich.

Die Kosten eines Linearbeschleunigers wachsen mit der Maximalenergie. Intensive Forschungen der TESLA-Kollaboration an supraleitenden 1,3-GHz-Hohlraumresonatoren (Abbildung 1) haben die Kosten in den letzten 15 Jahren um einen Faktor 25 verringert. Im August 2004 einigen sich die führenden Beschleunigerzentren SLAC und Fermilab (USA), KEK (Japan), CERN und DESY (Europa) daher auf die supraleitende Beschleunigungstechnik für den zukünftigen International Linear Collider (ILC).

Der Gradient in jedem der supraleitenden Hohlraumresonatoren wird 35 MeV/m betragen. Fast 20000 Module aus je neun Einzelresonatoren sollen im ILC zur Anwendung kommen. Über je 10 km aneinander gereiht, sollen sie Elektronen und Positronen auf jeweils 250 GeV

beschleunigen. Ein Ausbau in den TeV-Bereich ist von vornherein vorgesehen. Die Module können mit einer Güte von 1×10^{10} und besser hergestellt werden. Bei diesem Wert beträgt die Füllzeit des Resonators schon 0,5 ms. Die sich ausbildende stehende Welle beschleunigt fast 3000 Teilchenpakete über die Dauer von 1 ms. Währenddessen muss lediglich die vom Strahl entnommene Energie nachgeliefert werden. Fünf Strahlzüge dieser Art werden pro Sekunde beschleunigt.

Wegen der kleinen Strahlabmessungen müssen die Beschleunigerkomponenten mit großer Präzision aufgestellt werden. Bei Ausrichtung der Strahlen am Wechselwirkungspunkt kommt einem jedoch die Anziehung der Ladungen der beiden Strahlen zu Gute. Aus der Messung der azimuthalen Asymmetrie der Beamstrahlung, also der Photonen, die im Feld der entgegenkommenden Ladungen abgestrahlt werden, kann man die Ablage korrigieren und die Luminosität auch während des 1 ms dauernden Zuges von Teilchenpaketen optimieren.

Die Beschleunigerphysiker sind zuversichtlich, dass die wesentlichen technischen Fragen geklärt sind. Bis Ende 2006 wird ein Reference Design Report angefertigt, der geeignet ist, die letzte wichtige Frage zu klären: Wie teuer wird die Anlage?

Schon jetzt ist klar: Sie wird mehrere Milliarden Euro kosten, so dass sie nur als internationales Projekt finanziert werden kann. In Amerika wird das Projekt in der derzeitigen Phase vom Department of Energy gefördert, in den anderen Weltregionen kommen Beiträge aus den Laboratorien und aus externer Förderung, beispielsweise von der Europäischen Kommission, die unter anderem den verbindenden Charakter des internationalen Projektes schätzt. Die internationalen Aktivitäten selbst werden vom so genannten Global Design Effort (GDE) koordiniert, in dem Experten der verschiedenen Regionen Designfragen intensiv diskutieren.

Das naheliegende Ziel dieser gemeinsamen Anstrengung ist gut definiert: ein technisch überzeugender Vorschlag, der den Politikern in Amerika, Asien und Europa auch bezahlbar erscheint. Die Anstrengung auf der Seite der Wissenschaftspolitik scheint ungleich höher: Internationale Abkommen auszuarbeiten, die Bau und Betrieb einer solchen Anlage über 25 Jahre ermöglichen.

Die Teilchenphysiker sehen sich indes auf dem richtigen Weg auf. Ein hochrangiges Gremium der National Academy of Science hat ihnen kürzlich ein positives Gutachten ausgestellt. Es gibt keine Alternative für die Zukunft der Teilchenphysik. Zu einem ähnlichen Schluss war bereits 2003 der Wissenschaftsrat in Deutschland gekommen.

Eckhard Elsen, DESY, Hamburg

Internet

www.linearcollider.org

Abb.1 Ein Modul supraleitender Hohlraumresonatoren zur Beschleunigung von Elektronen bei Gradienten von 35 MV/m.

ABB.2 AUSLEGUNG DES ILC

Schematische Auslegung des ILC: neben Dämpfungsringen (DR) erkennt man auch den Undulator zur Erzeugung von (polarisierten) Positronen. Zwei getrennte Wechselwirkungspunkte können mit Strahlen versorgt werden.