

Forschungsschwerpunkte – Prof. Dr. Peter Hommelhoff

Die ultraschnelle Elektronenkontrolle ist der Oberbegriff, der Professor Dr. Hommelhoffs Forschung am besten zusammenfasst. Hier hat er bahnbrechende Grundlagenexperimente durchgeführt. So entwickelte er bereits als Postdoc in Stanford eine femtosekundenschnelle Elektronenquelle: Eine Femtosekunde entspricht einem Millionstel einer Milliardstel Sekunde. Darauf hat Hommelhoff seine Forschung aufgebaut und in drei unterschiedliche Richtungen getrieben: So hat er die Starkfeldphysik erstmals an Festkörperoberflächen demonstriert. In der Starkfeldphysik, die bis dato nur an einzelnen Atomen, Molekülen oder Atomclustern beobachtet wurde, sind die Laserfelder so stark, dass ganz neue Effekte auftreten, die bei schwachen Feldern nicht sichtbar sind. Am wichtigsten ist hier der Effekt, dass ein Elektron, das vom Laserfeld emittiert wird und sich von seiner Quelle wegbewegt, im starken Laserfeld wieder umgedreht und auf sein Ausgangsmaterial zurückgeschleudert werden kann. Dies geschieht in einem Bruchteil einer Femtosekunde, was den Bereich der Attosekundenphysik eröffnet. Eine Attosekunde ist ein Milliardstel einer Milliardstelsekunde, wodurch tiefe Einblicke in die Elektrodynamik auf dieser extrem schnellen Zeitskala möglich werden. Da dies alles so extrem schnell abläuft, verhält sich das Elektron wie eine perfekt kohärente Welle.

Auch das Feld der zukünftigen lichtfeldgetriebenen Elektronik hat Hommelhoff in den vergangenen Jahren maßgeblich geprägt. Wie in der bekannten Elektronik sind es auch hier nicht freie Elektronen, sondern Elektronen innerhalb eines Festkörpers und insbesondere innerhalb von elektrischen Leitern, die Hommelhoff und sein Team erstmals mithilfe von intensiven Laserfeldern auf extrem schneller Zeitskala steuern konnten. Das Material, das sie dazu nutzen, ist Graphen, eine einzelne Schicht von Kohlenstoffatomen, das auch für diese Arbeiten extrem interessante Eigenschaften aufweist und so die ersten Schritte in Richtung von ultraschneller, lichtfeldgetriebener Elektronik ermöglicht hat. Beispielsweise erlaubt Graphen das Einschalten eines elektrischen Stroms innerhalb von einer Femtosekunde, was einen Weltrekord darstellt, aber auch aus fundamentaler Sicht sind die Ergebnisse hochinteressant: So konnten Hommelhoff und sein Lehrstuhl erstmals Landau-Zener-Stückelberg-Interferometrie in einem (mehr oder minder) gewöhnlichen Material nachweisen; hier durchlaufen Elektronen mindestens zwei Übergänge von einem Zustand in einen anderen – vom Valenzband ins Leitungsband – und dies voll kohärent und in einem Material, das dafür nicht besonders präpariert werden musste, noch dazu bei Raumtemperatur.

Das dritte Forschungsgebiet, das Hommelhoff geprägt hat, ist die Laserbeschleunigung von Elektronen an photonischen Nanostrukturen. Hier hat er tatsächlich ein ganz neues Forschungsfeld eröffnet. Aus Groß mach Klein: der Beschleuniger auf einem Mikrochip. Hommelhoff setzt hier alles daran, gegenwärtig verfügbare Teilchenbeschleuniger stark zu verkleinern. Während die meisten Menschen bei Teilchenbeschleunigern sofort an den großen Ring des CERN in der Schweiz denken, wo Grundlagen der Materie erforscht werden, beschäftigt sich Hommelhoff mit den alltäglicheren Anwendungen von Teilchenbeschleunigern. Denn in der Medizin wird die Technologie ebenfalls eingesetzt, sei es in Bildgebungsverfahren oder in Strahlenkliniken in Form von Elektronen-Linearbeschleunigern zur Bekämpfung von Tumoren – natürlich mit geringeren Teilchenenergien als am CERN. Hommelhoff will die Teilchenbeschleuniger dazu viel kompakter machen: Gemeinsam mit Robert Byer aus Stanford arbeiten der Physiker und sein Team daran, einen Elektronenbeschleuniger zu entwickeln, der nur noch die Größe eines Mikrochips hat, eines photonischen Mikrochips. Dieses „Accelerator on a Chip International Program (ACHIP)“ ist von der Gordon and Betty Moore-Stiftung seit 2015 mit fast 20 Millionen Dollar gefördert worden. Das Forschungsteam strebt eine Verringerung der Größe gängiger Teilchenbeschleuniger um den Faktor 100 an – klinische Beschleuniger könnten so etwa einen Zentimeter klein werden.

Für seine herausragende Forschung erhielt Peter Hommelhoff bereits zwei der prestigeträchtigen Grants des Europäischen Forschungsrates (ERC): 2014 den Consolidator Grant für seine Arbeiten zur Starkfeldphysik an Metall-Nadelspitzen und 2020 den Advanced Grant für die Forschung an nanophotonischen Teilchenbeschleunigern.