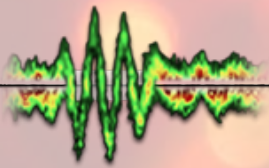


Lasertechnik für ultrakurze Lichtblitze

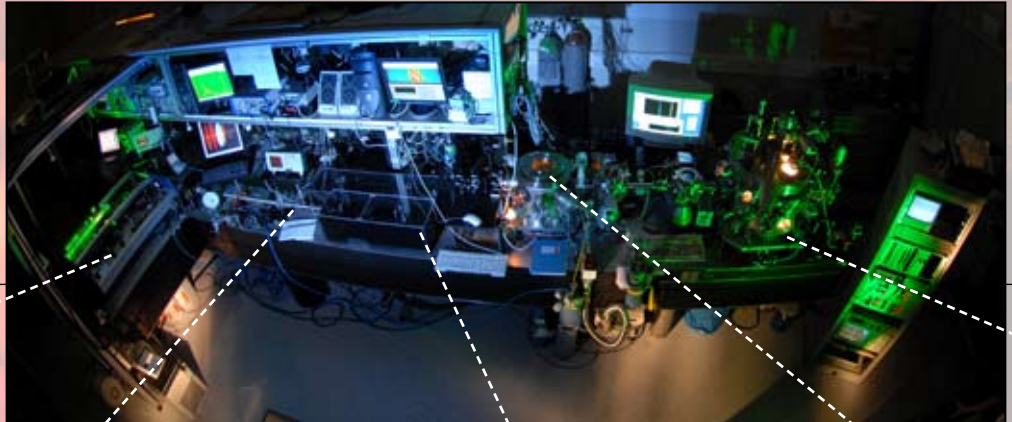


Der kürzeste jemals erzeugte Lichtblitz dauert 80 Attosekunden. Eine Attosekunde ist ein Milliardstel einer Milliardstel Sekunde. Aufgestellt wurde dieser Rekord im Jahr 2008 von einem Team um Prof. Ferenc Krausz im Labor für Attosekundenphysik (LAP) am Max-Planck-Institut für Quantenoptik. Die Technik entwickelten die Physiker an der Attosekunden-Beamline „AS1“. Der Name „Beamline“ kommt vom langgestreckten Aufbau der Versuchsstrecke für den Laserstrahl. Die Beamline ist ein High-Tech-Lasersystem gepaart mit einer Experimentierstation. Sie ist rund zehn Meter lang und besteht aus mehreren Abschnitten. Die Quelle für die Lichtpulse ist ein Laser, der Lichtpulse von rund 20 Femtosekunden Dauer liefert. Laserpulse können umso kürzer werden, je breiter ihr Spektrum ist, also je mehr „Farben“

sie umfassen. Aus diesem Grund werden die Lichtpulse aus dem Laser anschließend durch eine mit Edelgas gefüllte Hohlleiter geschickt. In dieser Faser wird durch eine Wechselwirkung der Femtosekundenpulse mit den Gasatomen das Spektrum des Lichts auf den gesamten sichtbaren Bereich erweitert. In den Lichtpulsen ist also jede Farbe des Lichts, von Blau bis zu Rot, sowie ein Anteil Infrarotlicht enthalten. Nachdem die Lichtpulse die Hohlleiter verlassen haben, werden sie von so genannten „chirped mirrors“ reflektiert. Diese Spiegel sind aus mehreren Schichten aufgebaut und lassen die verschiedenen Wellenlängen des Lichts unterschiedlich tief eindringen bis sie sie reflektieren. Durch diesen Wellenlängenunterschied werden die „früheren“ und „späteren“ Wellenlängenkomponenten zeitlich überlagert und somit die Dauer der Lichtpulse

komprimiert, sodass diese am Ende nur noch rund 3,5 Femtosekunden dauern. Die Femtosekunden-Lichtpulse werden anschließend in einer kleinen Vakuumkammer auf ein Gas, wie etwa Neon oder Helium, fokussiert. Bei jedem Maximum des elektrischen Feldes der Pulse werden Elektronen aus den Gasatomen herausgelöst. Das elektrische Feld des Lichts beschleunigt die Elektronen weg vom Mutteratom. Da das Feld der Pulse schwingt, werden die Elektronen

wieder zurück beschleunigt und rekombinieren mit ihrem Mutteratom. Dabei wird die Bewegungsenergie, die die Elektronen gewonnen haben, in Form von Photonen freigesetzt. Das Licht hat eine Wellenlänge im Röntgenbereich oder im extremen ultravioletten Bereich (bis zu 13 Nanometer). Durch Herausfiltern eines Teiles dieses Spektrums erhält man Lichtblitze mit einer Dauer von weniger als 100 Attosekunden. Zuletzt werden die Attosekunden-Lichtblitze in eine große Vakuumkammer geleitet, in der die eigentlichen Experimente stattfinden. Hier beobachtet man zum Beispiel, wie sich Elektronen in Atomen, Molekülen oder Festkörpern verhalten. Da diese Prozesse innerhalb von Attosekunden stattfinden, benötigt man ebenso kurze Lichtblitze um die Bewegungen der Teilchen sichtbar zu machen.



Ein kommerzielles Lasersystem produziert Lichtpulse von rund 20 Femtosekunden. Verstärkt wird das gepulste Licht durch einen Titan-Saphir-Kristall. Pulse werden

im Laser durch die Überlagerung verschiedener Lichtwellen mit unterschiedlichen Längen, also Farben, erzeugt. In einem Femtosekundenlaser werden mehrere tausend Wellenzüge gekoppelt zu einem einzigen Puls. Die Dimension einer Femtosekunde ist fast unvorstellbar klein: Licht mit einer Geschwindigkeit von fast 300.000 Kilometer pro Sekunde, umkreist die Erde in einer Sekunde 7,5 Mal. In einer Femtosekunde legt es gerade einmal die Entfernung zurück, die vergleichbar zur Dicke eines Haars ist.



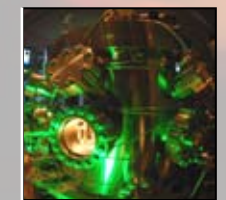
In der mit dem Edelgas gefüllten Hohlleiter wird die Bandbreite des Lichts erweitert. Bevor das Licht in die Hohlleiter eintritt, hat es ein Wellenlängen-Spektrum von etwa 700 bis 800 Nanometer. Nach Verlassen der Faser verfügt das Licht über Wellenlängen von 400 Nanometer bis hin zu 1000 Nanometer. Es reicht also von sichtbarem Blau bis hin zum Infrarotlicht. Das breitere Spektrum ist notwendig, um anschließend Pulse zu erzeugen, die noch kürzer als 20 Femtosekunden sind.



Zur Kontrolle der Lichtpulse kommen so genannte „chirped mirrors“ zum Einsatz. Diese Spiegel sind aus mehreren Schichten aufgebaut. Sie reflektieren bis zu 99,99 Prozent des Lichts. Sie sind zudem in der Lage, unterschiedliche Lichtwellen unterschiedlich tief eindringen zu lassen. So kann man zum Beispiel blaues Licht weniger tief in das Material eindringen lassen als rotes Licht. Dadurch hat das rote Licht eine längere Wegstrecke zurückzulegen bis es nach der Reflexion wieder aus dem Spiegel austritt. Mit dieser Technik können die Physiker die unterschiedlich schnellen Wellenlängenkomponenten des Lichtes zeitlich überlagern. Dadurch werden über die „chirped mirrors“ die Lichtpulse von rund 20 auf 3,5 Femtosekunden verkürzt.



In einer ersten Vakuumkammer treffen die Femtosekunden-Laserpulse auf eine Düse, aus der Edelgas strömt. Dabei schlagen die Laserblitze aus den Atomen der Edelgasatome Elektronen heraus und erzeugen so Ionenrumpfe. Dann werden die Elektronen wieder zu den Ionenrümpfen zurückgeschleudert. Beim Auftreffen wird die von den Elektronen im Laserfeld gesammelte Bewegungsenergie in Form eines Photons freigesetzt. Diese Pulse befinden sich im Bereich des Röntgen- oder extremen ultravioletten Lichts (XUV, ca. 10 bis 20 Nanometer Wellenlänge).



Am Ende der Beamline steht eine weitere Vakuumkammer für Experimente. Darin werden die Attosekundenblitze auf Proben, wie etwa Festkörper, fokussiert. Die Lichtblitze regen wiederum Elektronen in den Atomen der Probe an. Wie sich diese Elektronen dann verhalten, wird über einen zweiten, längeren Lichtpuls untersucht. Je kürzer die Attosekundenblitze sind, desto genauere Beobachtungen der Elektronen kann man in Atomen und Molekülen durchführen.